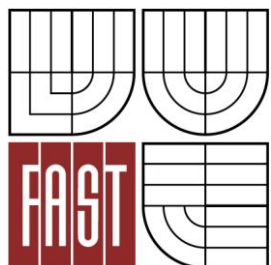




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

FOSFOR V SEDIMENTECH DROBNÝCH VODNÍCH TOKŮ PHOSPHORUS IN SEDIMENTS OF SMALL RIVERS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JARMILA ZBOROVSKÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JITKA MALÁ, Ph.D.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství krajiny

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. JARMILA ZBOROVSKÁ
Název	Fosfor v sedimentech drobných vodních toků
Vedoucí diplomové práce	doc. Ing. Jitka Malá, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2012
Datum odevzdání diplomové práce	11. 1. 2013
V Brně dne 31. 3. 2012	

.....
prof. Ing. Miloš Starý, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Golterman H.I. 2004. The chemistry of phosphate and nitrogen compounds in sediments.

Horáková M. 2000. Analytika vody.

Pitter P. 1999. Hydrochemie.

další literatura dle vlastní literární rešerše

Zásady pro vypracování

- ověření vybraných metodik stanovení forem fosforu na reálných vzorcích sedimentů drobných vodních toků
- provedení laboratorních analýz
- zhodnocení testovaných metodik
- zhodnocení zatížení sedimentů sledovaných drobných vodních toků formami fosforu

Předepsané přílohy

.....
doc. Ing. Jitka Malá, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá hodnocením stavu dvou drobných toků Leskavy a Troubského potoka. Potoky jsou hodnoceny ze dvou hledisek a to obsahem tří forem fosforu TP, P_{anorg} a P_{org} a hydromorfologickým hodnocením stavu toku. Celkový fosfor byl určen modifikovanou rozkladnou metodou s mineralizací $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$. P_{anorg} a P_{org} byly určeny metodou podle Pardo [1]. Hydromorfologické hodnocení je provedeno pomocí metodiky Králová at al. [2].

ABSTRACT

This thesis deals with assessment of two small water courses Leskava and Troubsky brook. Streams are evaluated from two aspects: content of three forms of phosphorus TP, P_{anorg} and P_{org} and hydromorphological assessment. Total phosphorus was determined by sample mineralization by $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$. P_{inorg} and P_{org} were determined by a method published by Pardo [1]. Hydromorphological assessment was done by methodology Králová at al. [2].

KLÍČOVÁ SLOVA

Celkový fosfor, organický fosfor, anorganický fosfor, hydromorfologie, drobný vodní tok, eutrofizace, nutriet

KEYWORDS

Total phosphorus, organic phosphorus, inorganic phosphorus, hydromorfology, small water course, eutrofication, nutrient

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

ZBOROVSKÁ, Jarmila. *Fosfor v sedimentech drobných vodních toků*. Brno, 2013, 60 s.
Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav vodního hospodářství krajiny.
Vedoucí diplomové práce doc. Ing. JITKA MALÁ Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně, a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 10. 1. 2013

.....
Bc. Jarmila Zborovská

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala doc. Ing. Jitce Malé Ph.D. za odborné vedení a pomoc při zpracování diplomové práce. Také bych ráda poděkovala Janu Šimečkovi za pomoc při zpracování vzorků v laboratoři.

OBSAH

1. ÚVOD	11
2. CÍLE	12
3. TEORETICKÁ ČÁST	13
3.1. FOSFOR VE VODNÍM PROSTŘEDÍ.....	13
3.2. FOSFOR V SEDIMENTECH, FORMY A JEJICH VÝZNAM	14
3.3. MORFOLOGIE VODNÍCH TOKŮ A JEJICH VLIV NA SAMOČIŠTĚNÍ.....	15
4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	22
4.1. METODIKA HYDROMORFOLOGICKÉHO HODNOCENÍ VODNÍCH TOKŮ	22
4.1.1. Břehy	24
4.1.2. Dnový materiál	24
4.1.3. Příčné překážky a vzdutí	24
4.1.4. Kapacita a přehloubení koryta	24
4.1.5. Říční dřevo	25
4.1.6. Dynamika.....	25
4.1.7. Hydrologický režim	25
4.1.8. Záplovové území.....	25
4.1.9. Příbřežní zóna	26
4.1.10. Vegetační doprovod.....	26
4.2. METODY ODBĚRU VZORKŮ A STANOVENÍ TP, P _{ANORG} A P _{ORG}	26
4.2.1. Odběr vzorků	26
4.2.2. Příprava vzorků.....	27
4.2.3. Celkový fosfor	27
4.2.4. Anorganický a organický fosfor	27
4.2.5. Fotometrické stanovení fosforečnanů molybdenanovou modří.	28
4.3. LOKALITY	28
4.3.1. Leskava	29
4.3.2. Troubský potok	30
4.4. VÝSLEDKY	32
4.4.1. Leskava	33
4.4.2. Troubský potok	36
4.4.3. Hydromorfologické hodnocení	38
4.5. DISKUZE.....	43
4.5.1. Porovnání celkového fosforu vůči součtu P _{org} a P _{anorg}	43
4.5.2. Náročnost použitých metod	45
4.5.3. Zatížení sedimentů potoka Leskava fosforem	46
4.5.4. Zatížení sedimentů Troubského potoka fosforem	49
5. ZÁVĚR.....	53

SEZNAM TABULEK	57
SEZNAM OBRÁZKŮ	58
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	59
SUMMARY	60

1. ÚVOD

Fosfor je jako prvek sám o sobě nezávadný pro člověka. Slouží jako stavební prvek pro vodní rostliny a při jeho nadměrných koncentracích podmiňuje růst řas a sinic, které jako vedlejší produkty uvolňují toxiny. Tyto toxiny jsou pak člověku nebezpečné a způsobují záněty kůže při koupání ve vodách obsahujících sinice a řasy. Takové vody jsou toxické při požití a z vodárenských účelů se velmi těžko upravují a jejich úprava je technologicky a finančně náročná. Dále řasy ovlivňují zabarvení a zápach vody svým odumíráním. Tyto organoleptické vlastnosti se upravují jen velmi nákladně.

Fosfor je znám jako eutrofizační činitel v našich přírodních a umělých nádržích, působí i eutrofizaci v říční vodě. Fosfor se může do vodních toků dostat několika způsoby a to erozním odnosem z orné půdy ve formě hnojiv, které rostliny nevyužily. Druhým způsobem se do vodních toků dostávají vypouštěním z domácností jako šedé a černé vody. Hlavní zdroj fosforu v šedých vodách jsou detergenty a prací prášky. Fosfor se dostává do vod i přírodní cestou ve formě odumřelých organismů.

Fosfor je také důležitým prvkem pro život rostlin a živočichů, kde je důležitým stavebním prvkem, proto nesmí chybět ale ani přebývat. Fosfor je ve vodách limitním prvkem pro vývoj rostlin. V dnešní době se vyskytuje nadměrné množství fosforu v koloběhu v přírodě. Fosfor byl odjakživa v koloběhu přírody, avšak v této době se těží z hlubinných nalezišť. Vytěžený fosfor je nadměrně používán ve formě hnojiv a to více než je nutné pro výživu rostlin a také v pracích prostředcích, které před sto lety nebyly používány.

2. CÍLE

Tato práce se zabývá fosforem ve drobných vodních tocích. Studuje množství a výskyt forem fosforu ve dnových sedimentech. Studuje výskyt tří forem fosforu a to organického, anorganického a celkového fosforu. Práce ověřuje vybraná metodika stanovení forem fosforu na reálných vzorcích sedimentů drobných vodních toků, zhodnocuje testované metodiky. Dále pak zhodnocuje zatížení sedimentů na sledovaných drobných vodních tocích formami fosforu. Toky jsou posouzeny z hlediska hydromorfologie a určen jejich celkový stav. Dále je vyvozen vliv morfologie a vliv ročního období na koncentrace forem fosforu. Jsou určeny také zdroje znečištění.

3. TEORETICKÁ ČÁST

3.1. Fosfor ve vodním prostředí

Fosfor společně s dusíkem je považován za nejdůležitější faktor ovlivňující eutrofizaci našich vodních toků a jezer. Jako nutrient způsobuje úživnost jezer, kde jej využívají sinice a řasy, které vytvářejí masové nárůsty. Eutrofizace se dělí na dva druhy a to na přirozenou a umělou. Přirozená je způsobena uvolňováním živin, jako jsou fosfor a dusík z půdy, sedimentů a odumíráním vodních organismů. Umělá eutrofizace je zapříčiněna zemědělskou produkcí, průmyslovými odpadními vodami, použitím polyfosforečnanových pracích prášků a čisticích prostředků a produkcí komunálních odpadních vod.

Eutrofizace se projevuje pravidelným masovým rozvojem tzv. vodního květu a vegetačním zabarvením. Toto se projevuje převážně v jarních a letních měsících, kdy je už dostatečná teplota pro vývoj řas a sinic. Růst sinic má negativní vliv na ostatní organismy, zvláště na vyšší organismy, ryby a vegetaci. Tyto řasy a sinice produkují jako vedlejší produkt látky toxické pro člověka a některé organismy, tímto pak snižují biodiverzitu vod. Tento růst je převážně na hladině a způsobuje zastínění ostatní vegetace pod hladinou. Jako fotosyntetické organismy při přístupu slunečních paprsků vytvářejí kyslík, a naopak v nočních hodinách respirují a dochází k úbytku rozpuštěného kyslíku a v ranních hodinách může být toto prostředí i anoxické. V tomto prostředí hynou citlivější organismy a snižuje se biodiverzita. Růst sinic má tím pádem vliv na samočisticí schopnosti vodních toků a jezer. Tento antropogenní fytoplankton, pak způsobuje problémy při vodárenském využití. [3]

Při přísunu živin se fosfor ukládá ve dnových sedimentech, kde se váže na kovy a sedimenty, které zde plní funkci rezervoáru fosforu. Při zvýšení teploty se fosforečnany uvolňují zpět do vodního prostředí, kde jsou využívány fytoplanktonem, toto nastává v letních měsících [4]. Fosfáty uvolňované během anoxických podmínek ze sedimentu, pochází pravděpodobně z těchto rezervoárů organické hmoty. Po mineralizaci bakteriemi se vrstva, ležící na vrchu sedimentů rozptýluje do vody, ležící nad sedimenty, bez interakce s FeOOH . Rychlost uvolňování fosforu je ovlivněna

rozkladnými procesy, zahrnujícími činnost mikroorganismů, a tudíž spíše biologickými, než chemickými mechanismy. Baktérie se přímo účastní uvolňování rozpustného reaktivního fosforu do vody, které následuje po rozpadu jejich buněk. V anaerobních podmínkách probíhá uvolňování polyfosforečnanů, které byly dříve za aerobních podmínek akumulovány [5].

Fosfor se ve vodách vyskytuje jako rozpuštěný a nerozpuštěný fosfor. Rozpuštěný fosfor může být vázaný buď organicky, nebo anorganicky. Anorganicky vázaný fosfor se dělí na orthofosforečnany a polyfosforečnany. Biologicky dostupný fosfor pro fytoplankton je rozpuštěný orthofosforečnanový fosfor a orthofosforečnany adsorbované na povrchu nerozpuštěných látek [6].

Rozpuštěný anorganicky vázaný fosfor se ve vodách vyskytuje ve formě jednoduchých nebo komplexních orthofosforečnanů nebo polyfosforečnanů v iontové a neiontové formě. Polyfosforečnany se vyskytují jako katena-polyfosforečnany a cyklo-polyfosforečnany [3].

Fosforečnany se vyskytují v neznečištěných přírodních vodách ve velmi nízkých koncentracích nepřevyšujících desetiny mg.l^{-1} . Fosforečnany se nouzově používají při dopravě pitné vody z protikorozních důvodů. V energetice má zvláštní význam fosforečnan sodný, který patří mezi alkalizační prostředky při úpravě napájecí vody pro vysokotlaké parní kotle. V podzemních vodách, jejich náhlé zvýšení je indikátorem fekálního znečištění [6].

3.2. Fosfor v sedimentech, formy a jejich význam

V důsledku chemických, biochemických a sorpčních procesů dochází v jezerech a nádržích k vertikální stratifikaci fosforu s periodickými změnami během roku. Fosforečnany se významně sorbují na dnových sedimentech, avšak za určitých podmínek může naopak dojít k uvolnění sloučenin fosforu zpět do kapalné fáze [6].

Fosfor vytváří nejčastěji komplexy s ionty kovů Fe, Al, Mg a Ca. Anorganický fosfor se v sedimentech nejčastěji váže na FeOOH . V prostředí tvrdé vody se váže na apatit CaCO_3 . Nejdůležitější absorbent, který ukazuje vyšší vazbu s fosforem než Fe, je

$\text{Al}(\text{OH})_3$. Různé zeminy obsahují různé množství adsorbovaného fosforu, to záleží na typu a chemickém složení zeminy. Ve sladké vodě se mohou objevit současně dva typy různých vazeb, a to v případě že pH a koncentrace fosforu jsou dostatečně vysoké. Při zvyšování pH se zvyšuje vazba fosforu na CaCO_3 a zmenšuje vazba na FeOOH , pokud se pH snižuje, děje se opak.

Vedle anorganického fosforu v sedimentech můžeme najít i organický fosfor. U většiny jezer jsou tyto látky součástí sedimentujícího mrtvého fytoplanktonu. Velká část fytoplanktonu se ztratí cestou k sedimentům. Určitá část fosforu obsaženého ve fytoplanktonu není lehce biologicky rozložitelná a tak se ukládá do sedimentů.

Organický fosfor se někdy objevuje v sedimentech ve velkém množství, vázaný v organických látkách, které jsou vysoce rezistentní vůči bakteriím a jsou mimoto silně adsorbovány na FeOOH , což je činí téměř nerozpustné [7].

V mělkých jezerech může silný vítr způsobit významné uvolnění fosforu, díky promíchání dnových sedimentů. To samé se může stát při velkých průtocích a povodních na tocích, kdy průtoky převrství, přinesou či odnesou dnový materiál.

Při vysychání sedimentů FeOOH ztrácí svoji kapacitu jako absorbent fosforu a přechází do formy Fe_2O_3 , a stejně tak CaCO_3 přechází do formy Ca^{2+} . Během vysoušení sedimentů dochází ke znehybnění bakterií. Takto akumulovaný fosfor se uvolňuje do vody při znovu zaplavení sedimentu.

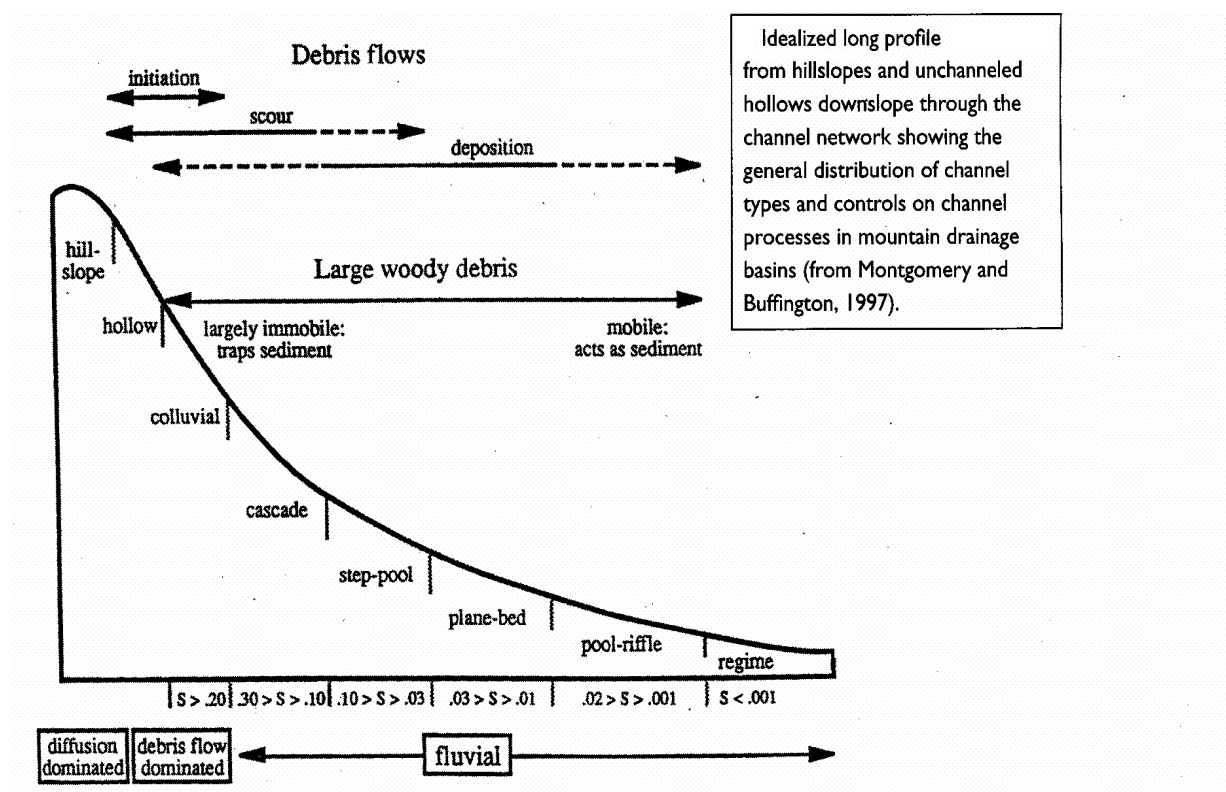
Fosfor se v přírodě nachází pouze v jediném oxidačním stupni, avšak jeho chemická vazba v půdě, vodě a sedimentech je velmi složitá a dosud přesně nezjištěna.

3.3. Morfologie vodních toků a jejich vliv na samočištění

Vývoj řeky, její vzhled, se mění od pramene k ústí toku. Mění se vzhled koryta, charakter dna, rychlost a energie proudu. Tvary koryt výrazně ovlivňuje geologické podloží, pravidelné povodňové průtoky a ukládání splavenin. Vytváří se nová koryta a odstavují se stará řečiště.

Řeky jsou dynamické systémy a na přírodní změny reagují tak, aby si udržely rovnovážný stav mezi množstvím a velikostí splavenin, velikostí průtoku a podélným sklonem toku. Základem fungování řek je jejich hydrologické a ekologické propojení s jejich nivami.

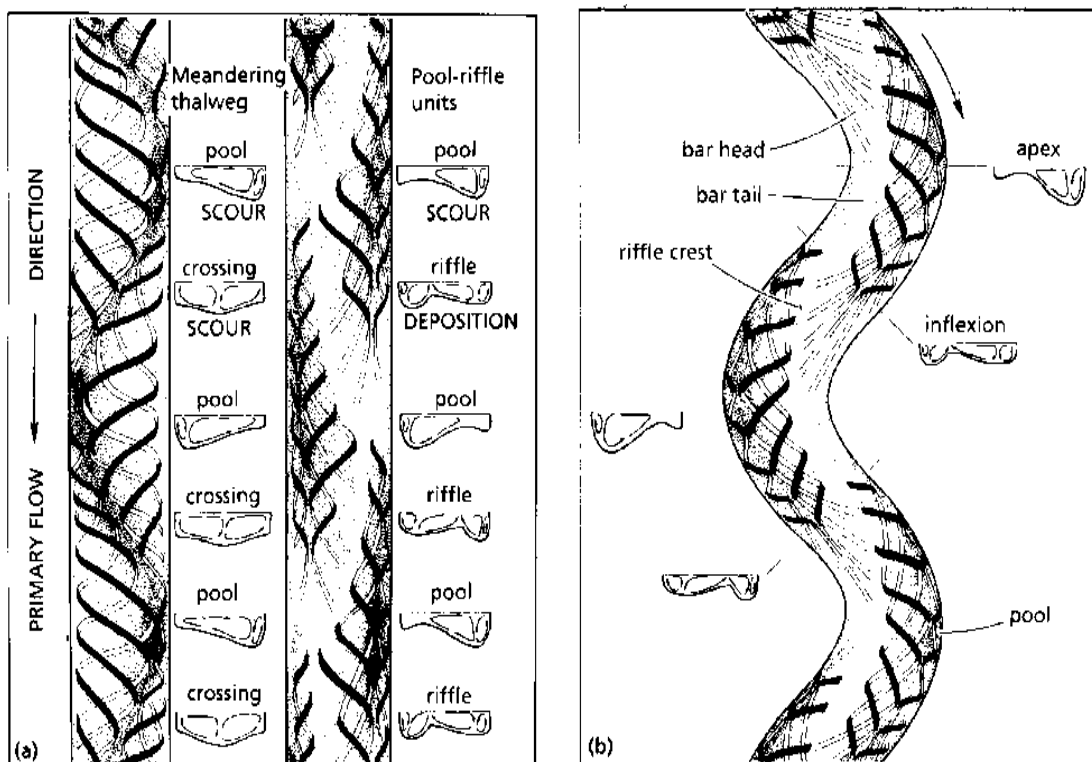
Morfologie vodních toku se skládá z části podélného vývoje toku, kde v pramenní oblasti je sklon toku větší než v oblasti ústí OBR. 1. Sklon má vliv na vývoj zrnitosti částic. V horní části toku, kde je sklon větší, jsou jemné částice unášeny po proudu a zůstávají jen částice, které odolají kinetické energii proudu. Oproti tomu ve střední a dolní části toku, kdy se sklon a rychlost zmenšují, nastává usazování částic, které byly v horní části odneseny.



OBR. 1: Vývoj podélného profilu toku [8].

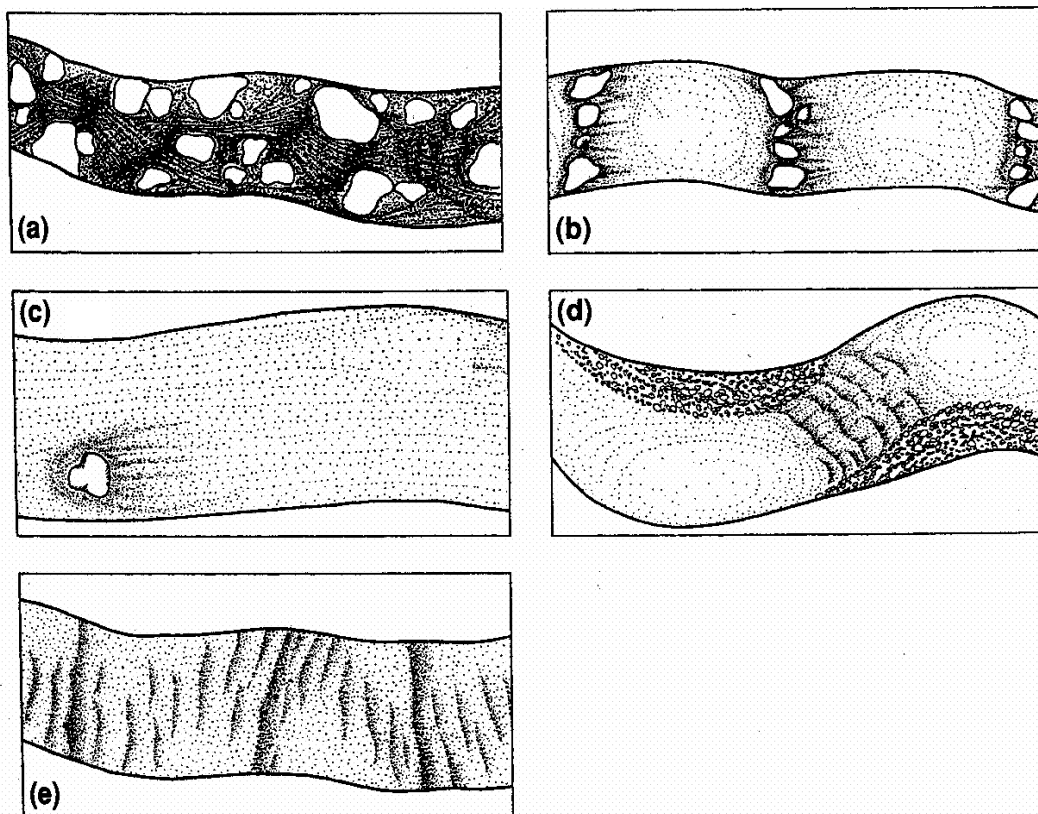
Překlad: Idealizovaný podélný profil z velkých sklonů a bez korytových sestupů přes říční síť, ukazující hlavní distribuci typů proudění a kontrolu jeho procesů v horských povodích.

Střední a dolní část toku je charakteristická svým vývojem v příčném směru. Vznikají zde meandry, kde na konkávní straně vzniká tůň a na konvexní straně vzniká lavice, kde se usazuje materiál, v tůni vymíláný OBR. 2. Dalším typem koryt jsou rozvětvená a divočí koryta, kde uprostřed toku jsou ostrovy usazeného materiálu, které se při povodňových stavech přesunují a přeskupují.



OBR. 2: Schéma morfologie dna toku, místa vymílání a usazování [9].

Členitost dna koryta ovlivňuje proudění v toku. Je možno definovat kaskádovitý typ proudění, proudění tůň-práh, proudění v korytě s rovným dnem, proudění typu peřej-tůň, proudění v korytě s dunami a vráskami ve dně Obr. 3. Tyto tůně mohou poskytnout úkryt mikroorganismům, které se podílejí na samočisticích procesech. Mikroorganismy by byly v rychlé vodě uneseny s proudem, a proto využívají pomalé vody v tůních.



Schematic planform illustration of channel morphologies at low flow: (a) cascade channel (Figure 2.6) showing nearly continuous, highly turbulent flow around cobbles and boulders; (b) step-pool channel showing sequential highly turbulent flow over steps and more tranquil flow through intervening pools; (c) plane-bed channel showing single boulder protruding through otherwise uniform flow; (d) pool-riffle channel showing exposed bars, highly turbulent flow through riffles, and more tranquil flow through pools; and (e) dune-ripple channel showing dune and ripple forms as viewed through the flow (from Montgomery and Buffington, 1997).

OBR. 3: Schéma typu proudění [8].

Překlad: Schematická ilustrace morfologie koryta s nízkými průtoky: (a) kaskádové proudění ukazuje skoro spojitý, vysoce turbulentní průtok kolem kamenů a balvanů; (b) proudění práh-tůň ukazuje postupné vysoce turbulentní proudění přes prahy a více klidný průtok protékající tůň; (c) proudění s rovným dnem ukazuje jediný balvan vyčnívající z jinak jednotného proudu; (d) proudění peřej-tůň ukazuje vyčnívající pruhy vysoce turbulentního průtoku přes peřeje; a (e) proudění v korytě s dunami a vráskami ukazuje formy dun a vrásek viditelné v proudu.

Měkkýši, larvy hmyzu a koryši se podílejí na odstraňování a odbourávání živin, jako konzumenti produktů rozkladu prvků a bakterií. Tyto druhy žijí v hlinitých březích a meandrech, proto mají velký význam přirozené břehy a břehové porosty. Čisticí schopnost mají i vodní rostliny typu orobinec, ostřice a kosatec. Sedimenty v říční nivě filtrují vodu do podloží, kterou využívají okolní rostliny.

Na samočisticí schopnosti mají vliv fyzikální procesy, chemické procesy a biologické procesy. Z fyzikálních procesů se uplatňují disturbance (rozrušování) větších předmětů účinkem proudu a sunutím po dně, retence, akumulace a sedimentace nerozpuštěných částic, vzplývání lehkých částic (polystyrénu, tuků a olejů), jejich shlukování a vyplavování na břehy, zachycování v porostu vodních makrofyt, v kořenech stromů apod. Další jsou sorpce znečišťujících látek na povrchu částic dna, disperze (rozptyl), promíchávání a zředování znečišťujících látek, difúze plyných látek z vodního prostředí do ovzduší a působení slunečního záření (fotochemický rozklad, podpora fotosyntézy)[10].

Z chemických pochodů jsou zastoupeny hydrolýza, oxidačně-redukční reakce, hydratace, srážení a koprecipitace, komplexační reakce, iontová výměna a další.

Nejdůležitějšími procesy v samočištění jsou pochody biologické, resp. biochemické, které ovlivňují jak látky nerozpuštěné, tak látky rozpuštěné. Biologickými pochody dochází k transformaci látek organických, které jsou zapojovány do koloběhu látek v rámci jednotlivých trofických úrovní daného vodního ekosystému. Nejdůležitější úlohu při biochemických pochodech hrají mikroorganismy, zejména bakterie a mikromycety (tzv. vodní hyfomycety). Podle chování organických látek ve vodě a schopnosti mikroorganismů využívat tyto látky jako zdroj energie a transformovat je na látky jednodušší, dělíme organické látky na lehce nebo obtížně rozložitelné a nerozložitelné, biochemicky stabilní a rezistentní. Pro rozklad organických látek v aerobních podmínkách je využíván kyslík. Při velkém organickém znečištění může dojít k jeho deficitu, což zpětně vede ke zpomalení nebo i k zastavení biochemického rozkladu [10].

Podle evropské směrnice 2000/60/ES [11] slouží hydromorfologické posouzení jako nástroj pro posouzení zlepšení stavu toků nebo jeho uchování v dobrém stavu.

Hydromorfologické mapování opakované v určité periodě má hodnotit změnu toku a určit jeho stav.

- Po vyhodnocení se má zamezit zhoršení stavu všech útvarů povrchových vod.
- Zajistit ochranu, zlepšení stavu a obnovu všech útvarů povrchových vod.
- Zajistit ochranu a zlepšení stavu všech umělých a silně ovlivněných vodních útvarů; s cílem dosáhnout dobrého ekologického potenciálu a dobrého chemického stavu povrchové vody.
- Cíleně snížit znečištění prioritními látkami a zastavit nebo postupně odstranit emise, vypouštění a úniky prioritních nebezpečných látek.

Za první práci, která se zabývala hydromorfologickým hodnocením lze považovat stat' Roberta Hortona z roku 1945, publikovanou v Bulletinu Americké geologické společnosti pod názvem: „Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology“[12]. Horton svůj výzkum založil na do té doby nebývalé syntéze popisu hydrologie a geomorfologie povodí a na kvantitativním popisu tvarů reliéfu. Po tomto průlomů následovaly další klasické práce, které uvádí Smetana [13] (např. Leopold a kol. 1964; Chorley, Kenedy 1971; Schumm 1977, Rosgen 1994 aj.).

Od konce 90. let 20. století vzrůstají tendence pro vytvoření komplexních metod hodnocení, které by odrážely celkový tzv. ekohydrologický stav vodních toků. Hydrochemické a hydrobiologické ukazatele jakosti vody velice úzce souvisí s hydromorfologickými a morfometrickými charakteristikami koryt. Především z těchto důvodů se aplikují nové principy hodnocení, které jsou obvykle založeny na analýze odtokového režimu, stavu jakosti povrchové vody a hydromorfologickém stavu koryta a příbřežní zóny [14].

Hydromorfologickým posouzením se zabývalo více autorů Matoušková [14] uvádí například Kováře, Kategorizace vodních toků je vypracována pro drobné vodní toky a jednotlivé kategorie jsou vymezeny podle sklonu, unášecí síly vody, rozkolísanosti průtoků, stupně transportu splavenin a rybích pásů. Je rozlišováno 5 základních typů

vodních toků: potoky nížin, potoky pahorkatin, podhorské potoky, horské potoky a bystřiny. Americké klasifikační přístupy upřednostňují tzv. ekoregiony.

Baily rozčlenil území USA do 11 základních ekoregionů. Základními hodnotícími kritérii jsou morfometrické charakteristiky koryt vodních toků, chemismus povrchových vod a vodní fauna a flóra. Jeho území jsou plošně rozsáhlé jednotky [14].

Kategorizace vodních toků podle Rosgena [15] slouží jako podklad pro revitalizační projekty. Základními hodnotícími parametry jsou: sklonové poměry, charakteristiky příčného profilu říčního údolí a koryta toku, křivolakost trasy koryta toku a substrátové složení říčního koryta. Na základě studia 450 modelových povodí v Severní Americe a Novém Zélandě rozčlenil toto hodnocení na 42 tříd vodních toků.

Hydroekologický monitoring (HEM) [16], hodnocení je založeno na principu skórování jednotlivých parametrů, hodnocených z pohledu jejich vlivu na hydromorfologickou kvalitu toku. Skórování je u většiny ukazatelů založeno na hodnocení četnosti nebo rozsahu výskytu jednotlivých hodnocených forem úprav prostředí toku a nivy. Hodnocení je založeno na souboru celkem 17 ukazatelů, které hodnotí hlavní aspekty hydromorfologické kvality zóny koryta toku, dna, břehu a inundační zóny včetně charakteristik proudění a hydrologického režimu.

4. Experimentální část

Experimentální část se skládá ze dvou částí a to hydromorfologického posouzení stavu vybraných toků a určením celkového, organického a anorganického fosforu a vyhodnocením zatížení toků fosforem.

4.1. Metodika hydromorfologického hodnocení vodních toků

Postup hodnocení byl zvolen podle metodiky Králová at al. [2]. Toto hodnocení je rozděleno do škály pěti stupňů, kde 1 je velmi dobrý stav a 5 je zničený stav toku viz Tab. 1. Výsledná hodnota kvality stavu je vypočítána aritmetickým průměrem z deseti faktorů ovlivňujících výsledný stav. Tok má být rozdělen na přibližně stejně dlouhé úseky, kde jednotlivé úseky jsou po délce stejného charakteru.

Tab. 1: Stupnice hydromorfologického stavu toků

Hydromorfologický stav	Rozmezí	Procenta přírodního stavu	Kvalita stavu	Barevné označení v mapě, náčrtku či GIS
1	1,0 – 1,7	<100, 80)	velmi dobrý	modrá
2	1,8 – 2,5	<80, 60)	dobrý	zelená
3	2,6 – 3,4	<60, 40)	střední	žlutá
4	3,5 – 4,2	<40, 20)	poškozený	oranžová
5	4,3 – 5,0	<20, 0>	zničený	červená

Toto měření je stanovováno pomocí mapovacího formuláře, který se vyplní na místě ihned při mapování. Mapovací formulář OBR. 4 je dělen na deset faktorů, kterými jsou břehy, dnový materiál, příčné překážky a vzduť, kapacita a přehloubení koryta, říční dřevo, dynamika, hydrologický režim, záplavové území, příbřežní zóna a vegetační doprovod.

Název vodního toku:
Mapovatel:
Datum:

Označení úseku:
Dolní hranice úseku (GPS, ř. km):
Horní hranice úseku (GPS, ř. km):

1. Břehy

% délky úseku	0	< 10	11 - 30	31 - 50	> 50
Přirozené	5	5	4	3	1
Upravené, ale neopevněné		1	3	3	4
Nekompaktní nesouvislá zpevnění		2	2	3	3
Nekompaktní souvislá zpevnění		2	3	3	4
Kompaktní nesouvislá zpevnění		2	4	5	5
Kompaktní souvislá zpevnění		3	5	5	5

2. Dnový materiál

% délky úseku	0	< 10	11 - 30	31 - 50	> 50
Přirozený	5	5	4	3	1
Změněný		2	3	4	5
Antropogenní		2	3	5	5
Prohrábky		2	3	4	5
Zatrubněno		3	5	5	5

3. Příčné překážky a vzdutí

Počet příčných překážek	Vzdutí, % délky úseku				
	0	< 10	11 - 30	31 - 50	> 50
0	1	1	2	4	5
1	2	3	4	5	5
2	3	3	4	5	5
> 2	4	4	5	5	5

4. Kapacita a přehloubení koryta

% délky úseku	0	< 10	11 - 30	31 - 50	> 50
Vše přirozené	5	5	4	2	1
Přehloubeno, kapacita < Q _s		1	2	2	3
Přehloubeno, kapacita > Q _s		2	3	4	5
Zkapacitněno na > Q _s		2	4	5	5
Výrazně zkapacitněno a ohrázováno		3	4	5	5

5. Říční dřevo

Počet ks / 1 km	
> 50	1
31 - 50	2
11 - 30	3
5 - 10	4
< 5	5

6. Dynamika

% délky úseku	0	< 10	11 - 30	31 - 50	> 50	Není přirozený průtok
Přirozená dynamika	5	4	3	2	1	
Překládání koryta	5	4	3	2	1	x
Břehové nátrže	4	3	1	1	1	x
Lavice	4	3	1	1	1	x
Tůně a mělčiny	5	4	2	1	1	x
Dynamika narušena		1	2	4	5	
Kompletně změněný průtočný profil		2	4	5	5	
Nad úsekem vodní nádrž		5				

7. Hydrologický režim

% délky úseku	0	< 10	11 - 30	31 - 50	> 50
Neovlivněn	5	5	4	3	1
Nárazové vypouštění	2	3	4	5	
Špičkování	2	4	5	5	
Odběry do 10 % Q _a	1	2	3	4	
Odběry 10 - 50 % Q _a	2	3	4	5	
Odběry nad 50 % Q _a	3	4	5	5	
Vysychání v důsledku odběrů	4	5	5	5	
Vysychání v důsledku nevhodné morfologie	4	5	5	5	
Nad úsekem vodní nádrž		5			

8. Záplavové území

% původního záplavového území	% délky úseku	0	< 10	11 - 30	31 - 50	> 50
0		5	5	5	5	5
< 10		5	4	4	4	4
11 - 30		4	4	4	3	3
31 - 50		4	3	3	2	2
> 50		4	3	2	1	1

9. Příbřežní zóna

	0	< 10	11 - 30	31 - 50	> 50
Přirozené struktury	5	5	4	3	1
Hospodářský šetrně využívané		2	2	2	2
Zemědělská půda		2	2	3	3
Orná půda		2	3	4	5
Sídlo		2	3	4	5
Průmysl		2	3	4	5
Komunikace		1	2	2	3

10. Vegetační doprovod

% délky úseku	0	< 10	11 - 30	31 - 50	> 50
Přirozený	5	4	3	2	1
Hospodářský les		2			
Dřevinný lem		2			
Rozptýlené dřeviny		3			
Dřeviny zcela odstraněny		2	3	4	5
Pravidelné kosení a odstraňování dřevin		2	4	5	5
Nepřívodní invazní druhy		1	2	3	4

Poznámky:

1. Břehy
2. Dnový materiál
3. Příčné překážky a vzdutí
4. Kapacita a přehloubení koryta
5. Říční dřevo
6. Dynamika
7. Hydrologický režim
8. Záplavové území
9. Příbřežní zóna
10. Vegetační doprovod

Výsledné hodnocení

OBR. 4: Mapovací formulář [2].

Ve formuláři se označí úsek toku a GPS souřadnice horní a dolní hranice toku. Dále se vyplní název vodního toku, mapovatel a datum mapování. Všechny informace se vyplní ihned na místě, aby nedošlo k pozdějším chybám. Tato metodika vyžaduje předchozí zkušenosti s mapováním, proto výsledné hodnocení může být subjektivní. U jednotlivých faktorů se určuje procentuelní zastoupení, u kterého je na výběr z pěti možností a to 0%, do 10%, 11 až 30%, 31 až 50% a více než 50%. Jednotlivé možnosti

23

se zakroužkují přímo v terénu a výsledné hodnocení a aritmetické průměry můžou být zpracovány později.

4.1.1. Břehy

Je možno zaznamenat více možností a každá možnost je vyjádřena procentuelním zastoupením délky. Výsledné hodnocení je pak aritmetickým průměrem. Na výběr je ze šesti možností stavu břehů: přirozené; upravené, ale neopevněné; nekompaktní nesouvislá zpevnění; nekompaktní souvislá zpevnění; kompaktní nesouvislá zpevnění a kompaktní souvislá zpevnění.

4.1.2. Dnový materiál

Je možno zaznamenat více možností a každá možnost je vyjádřena procentuelním zastoupením délky. Výsledné hodnocení je pak aritmetickým průměrem. Je na výběr z pěti možností: přirozený; změněný; antropogenní; prohrábky; zatravněno.

4.1.3. Příčné překážky a vzdutí

Lze zaznamenat pouze jednu možnost. Hodnocení jednotlivých možností je uváděno pro % délky úseku. Příčnými překážkami jsou myšleny pouze antropogenní stavby a všechny prvky vyšší než 20 % hloubky koryta. Vzdutím je pak myšleno vzdutí způsobené pouze činností člověka.

4.1.4. Kapacita a přehloubení koryta

Je možno zaznamenat více možností, výsledné hodnocení je aritmetickým průměrem všech zaznamenaných hodnot. Hodnocení jednotlivých možností je uváděno pro % délky úseku. Je na výběr z pěti možností: vše přirozené; přehloubeno, kapacita $< Q_5$; přehloubeno, kapacita $> Q_5$; zkapacitněno na $> Q_5$; výrazně zkapacitněno a ohrázováno. Q_5 je průtok, který je dosažen nebo překročen průměrně jednou za pět let.

4.1.5. Říční dřevo

Je možno zaznamenat pouze jednu možnost. V hodnoceném úseku se zapisuje počet výskytů kusů dřevní hmoty s průměrem větším než 5 cm a delší než 1 m. Zjištěné množství je nutno přepočítat na jeden kilometr.

4.1.6. Dynamika

Je možno zaznamenat více možností, výsledné hodnocení je aritmetickým průměrem všech zaznamenaných hodnot. Hodnocení jednotlivých možností je uváděno pro % délky úseku. Hodnocení dynamiky vyžaduje většinou zcela individuální přístup, poněvadž na každém toku se projevuje jinak. Důležité je, aby absence některých fluvialních forem nesnižovala celkové hodnocení tohoto ukazatele. Nutno také zahrnout skutečnost, že některé toky mají velmi nízkou přirozenou dynamiku. Je zde osm možností: přirozená dynamika; překládání koryta; břehové nátrže; lavice; tůň a mělčiny; dynamika narušena, kompletně změněný průtočný profil; nad úsekem vodní nádrž. Lze zvolit možnost není přirozený pro daný tok.

4.1.7. Hydrologický režim

Je možno zaznamenat více možností, výsledné hodnocení je aritmetickým průměrem všech zaznamenaných hodnot. Hodnocení jednotlivých možností je uváděno pro % délky úseku. Na výběr je z devíti možností: neovlivněn; nárazové vypouštění; špičkování; odběry; vysychání v důsledku odběrů; vysychání v důsledku nevhodné morfologie; nad úsekem vodní nádrž.

4.1.8. Záplavové území

Je možno zaznamenat jednu možnost a to procento původního záplavového území na procentu délky toku. Hodnocena je relativní velikost záplavového území vzhledem k jeho původní (přirozené) velikosti, obecně řečeno vůči celkové velikosti nivy.

4.1.9. Příbřežní zóna

Je možno zaznamenat více možností, výsledné hodnocení je aritmetickým průměrem všech zaznamenaných hodnot. Hodnocení jednotlivých možností je uváděno pro % délky úseku. Malý vodní tok nemá tak výraznou dynamiku a vliv na své okolí, proto není nutné hodnotit celou nivu či údolní dno. Obecně je pro hodnocení stanovena příbřežní zóna o šířce 20 m. Na výběr je ze sedmi možností: přirozené struktury; hospodářsky šetrně využívané; zemědělská půda; orná půda; sídlo; průmysl; komunikace.

4.1.10. Vegetační doprovod

Je možno zaznamenat více možností, výsledné hodnocení je aritmetickým průměrem všech zaznamenaných hodnot. Vždy je nutno zhodnotit celkovou přirozenost doprovodu, tj. zaškrtnout hodnocení pro kategorii „přirozený“. Hodnocení jednotlivých možností je uváděno pro % délky úseku. Hodnocen je vegetační doprovod v příbřežní zóně či meandrovém pásu. Na výběr je ze sedmi možností: přirozený; hospodářský les; dřevinný lem; rozptýlené dřeviny; dřeviny zcela odstraněny; pravidelné kosení a odstraňování dřevin; nepůvodní invazivní druhy.

4.2. Metody odběru vzorků a stanovení TP, P_{anorg} a P_{org}

Pro stanovení celkového, organického a anorganického fosforu byly odebrány dva druhy vzorků. Celkový fosfor, P_{org} a P_{anorg} byly stanoveny z dnových sedimentů a byla odebrána říční voda pro prolévání vzorků při prosévání.

4.2.1. Odběr vzorků

Vzorky vody byly odebrány do dvou čistých PET láhví. Na místě byly určeny parametry pH, vodivost, množství kyslíku a teploty sondou.

Sedimenty byly odebrány pomocí jádrového vzorkovače Beekerova typu do igelitových zipových sáčků. Takto byly naplněny tři sáčky.

Všechny vzorky byly poté umístěny do přepravního chladicího boxu a uchovány v temnu. Následně po převozu do laboratoře byly uloženy do lednice a druhý den ráno zpracovány.

4.2.2. Příprava vzorků

Vzorky sedimentů byly prosety přes síto 45 μm . Na síto se dají tři lžice sedimentu, materiál se prolíje říční vodou. Vody má být co nejméně, protože do vody se uvolňuje fosfor obsažený v sedimentech. Se sítem se třepe dvacet vteřin. Ještě se čtyřikrát zopakuje prolévání říční vodou a třepání 20 vteřin. Nadsítné se vysype a opakuje se znovu. Takto se zpracují všechny vzorky. Jako voda na ředění se používá říční voda odebraná v příslušném odběrném místě. Podsítné se uloží do sušárny v keramické nádobě a při teplotě 105 °C se suší. Vysušený vzorek se rozdrtí v třecí misce.

4.2.3. Celkový fosfor

Celkový fosfor (TP) se určí oxidačním rozkladem na rozpuštěné anorganické orthofosforečnany. Do 100 ml odměrky se naváží 0,1 g vzorku kalu. Přidá se 3 ml koncentrované H_2SO_4 , vloží do mineralizační aparatury. Po dosažení teploty 440 °C se zahřívá cca 5 minut. Poté se přidá 15 až 17 ml H_2O_2 30 %, po vykapání peroxidu se sundá nálevka a zahřívá se ještě 5 minut. Odměrka se po ochlazení doplní po značku destilovanou vodou. Dále se určí obsah fosforu metodou fotometrického stanovení fosforečnanů molybdenanovou modří viz 4.2.5 [16].

4.2.4. Anorganický a organický fosfor

Do plastové nádoby se odváží 0,2 g vzorku a přidá se do něj 20 ml 1.0 mol.l⁻¹ kyseliny chlorovodíkové. Vzorek se uzavře a nechá se třepat na rotačním homogenizátoru při pokojové teplotě po dobu 16 hodin. Poté se na centrifuze po 10 minut na 3000 otáček odstředí.

Na dně zůstane odstředěný vzorek a nahoře extrakt s obsahem fosforu v kyselině chlorovodíkové. Z extraktu se určí anorganický fosfor P_{anorg} pomocí metody fotometrického stanovení fosforečnanů molybdenanovou modří, viz 4.2.5.

Odstředěný vzorek se dá žíhat v keramické nádobě do pece při 450 °C na tři hodiny. Po vyjmutí a vychladnutí se stanoví ztráta žíháním a vzorek se zředí 20 mililitry 1,0 mol.l⁻¹ HCl a vloží se opět na rotační homogenizátor na dobu 16 hodin. Poté se z roztoku pomocí stejné metody fotometrického stanovení fosforu molybdenanovou modří určí fosfor organický P_{org}, viz 4.2.5 [1].

4.2.5. Fotometrické stanovení fosforečnanů molybdenanovou modří.

50 ml nebo menší množství vzorku se odměří pipetou do 50 mililitrové odměrné baňky a doplní se destilovanou vodou po rysku. Přidá se jeden mililitr roztoku kyseliny askorbové a čtyři mililitry směsného činidla obsahujícího kyselinu sírovou, molybdenan amonný a vinan antimonylodraselný. Roztok se promíchá a po 10 minutách se měří absorbance při 690 nm ve spektrometru oproti destilované vodě. Používají se 5 cm skleněné kyvety [16].

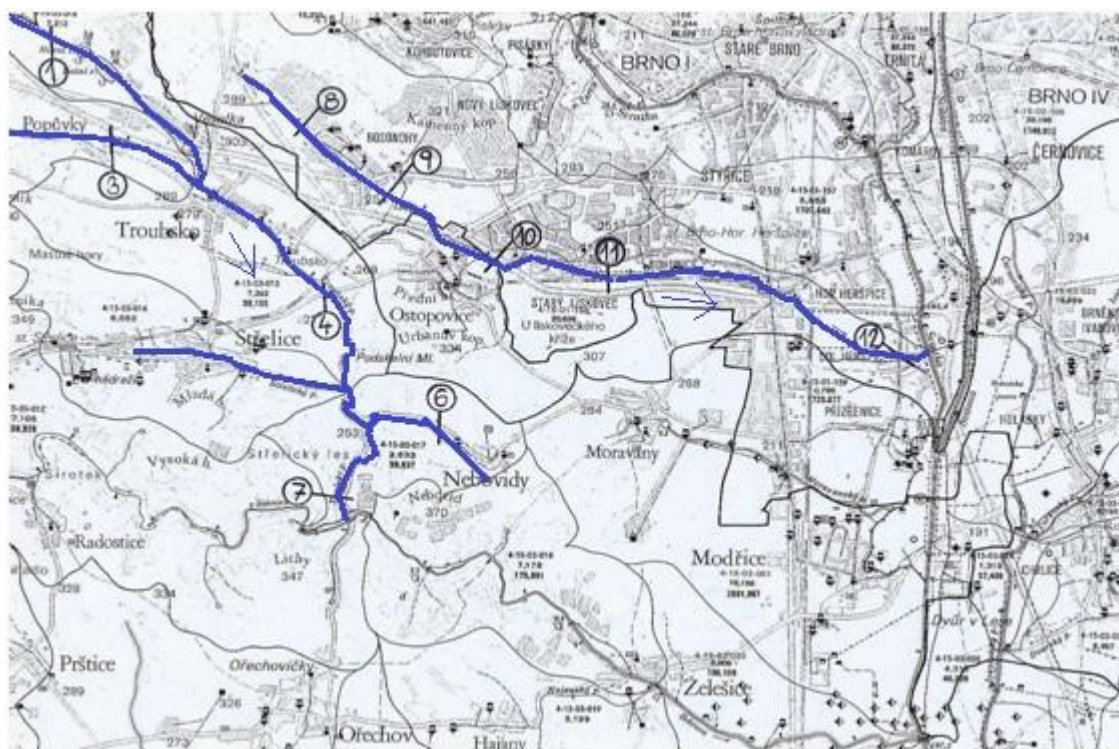
4.3. Lokality

Byly zvoleny dvě lokality Leskava a Troubský potok. Oba potoky se nachází v lokalitě Brno-město a Brno-venkov a to jihozápadně od Brna.

4.3.1. Leskava

Potok Leskava pramení nad brněnskou městskou částí Bosonohy a protéká Bosonohami, Starým Lískovcem, Bohunicemi a Dolními Heršpicemi.

Potok Leskava spadá do povodí Svatky, číslo hydrologického pořadí toku je 4-15-01-158. Pramení nad Bosonohami a je pravostranným přítokem řeky Svatky na km 42, jeho délka je 9,55 km. Povodí Leskavy o ploše 20,64 km² tvoří převážně zemědělsky využívaná půda (asi 70 %), asi 12 % plochy povodí je zalesněno a zbytek je zastavěn. Potok přetíná dálnice D1 a železniční trať Brno-Střelice a Brno-Břeclav.



OBR. 5: Mapa odběrných míst [17].

Pro odběr vzorků byla zvolena čtyři odběrná místa. První odběrné místo s číslem 8 se nachází nad obcí Bosonohy těsně před první zástavbou na říčním kilometru 8,83. Odběrné místo se nachází u příchozí lávky k obytnému domu, paralelně s potokem vede komunikace s živinovým povrchem. Nenachází se zde žádná vysoká vegetace. Další místo s číslem 9 je pod obcí Bosonohy km 7,46, ve vzdálenosti 100 metrů za obcí. Nachází se u mostku, který slouží jako příjezdová komunikace na ornou půdu. Břeh je zde opevněn a tímto opevněním prorůstá tráva. V blízkosti se nachází solitérní stromy.



OBR. 6: Vlevo odběrné místo číslo 8 a vpravo odběrné místo číslo 9.

Odběrné místo číslo 10 se nachází mezi Ostopovicemi a Starým Lískovcem km 5,48 v blízkosti křížení dálnice D1 a komunikace první třídy. V místě odběru je tok přerůstán bylinami a keři, místo je zanesené naplavenými větvemi a nejen organickým materiálem. Poslední místo s číslem 12 je těsně před soutokem pod městskou částí Horní Heršpice na km 0,36, nachází se v místě mostu, kde tok kříží místní komunikace. Břeh je zde zatravněn a je zde osazen skupinou stromů.



OBR. 7: Vlevo odběrné místo číslo 10 a vpravo odběrné místo 12.

4.3.2. Troubský potok

Troubský potok pramenní nad obcí Popůvky a protéká obcemi Popůvky a Troubsko. Potok dále protéká zahrádkářskými koloniemi, které patří k obci Ostopovice a dále usedlostí Samoty. Troubský potok patří do povodí Svratky a je levostranným přítokem řeky Bobravy. Do Bobravy se vlévá na km 9,3. Hydrologické číslo povodí Troubského

potoka je 4-15-03-013, délka toku 9,7 km a plocha povodí 20,152 km². Přítoky Troubského potoka jsou Aušperský potok, který protéká obcí Veselka, Střelický potok, který protéká obcí Střelice a Nebovidský potok, který protéká obcí Nebovidy a plní zde funkci otevřené stoky.

První odběrné místo s číslem 1 se nachází na levostranném přítoku Troubského potoka na Aušperském potoce nad dvěma rybníky km 2,66. Kolem místa je porost vegetace. Odběrné místo 4 se nachází za obcí Troubsko km 3,82. Toto odběrné místo se nachází asi 300 metrů za obcí a je umístěno v místě křížení potoka se silnicí první třídy spojující obce Ostopovice a Střelice. Odběrné místo se nachází u mostní konstrukce v místě, kde je tato konstrukce zavázána do břehů, je zde pravidelně zbavováno vegetace a koseno. Poslední odběrné místo 7 je těsně před soutokem s řekou Bobravou na km 0,29. Nachází se v chráněné oblasti parku Bobrava, kolem je hustý les i patro bilinné vegetace. Odběrné místo je u mostku, který slouží jako příjezdová komunikace pro techniku na udržování lesa.



OBR. 8: Vlevo odběrné místo číslo 4 a vpravo odběrné místo číslo 7.

4.4. Výsledky

Odběry byly prováděny po dobu 1,5 roku. Celkem byly provedeny čtyři odběry. První odběr byl proveden na podzim roku 2011 a pak následovaly odběry během roku 2012. Tyto byly provedeny třikrát a to jarní vzorek v měsíci květnu, letní vzorek v červenci a podzimní vzorek v září. V sedimentech byly analyzovány tři formy fosforu a to celkový fosfor, organický fosfor a anorganický fosfor. Z každého místa byl odebrán vzorek a od každého vzorku byly stanoveny tři paralelní rozbory (viz tab. 2-7).

4.4.1. Leskava

Tab. 2: Naměřené hodnoty celkového fosforu v sedimentech potoka Leskava.

		Celkový fosfor			
	bod	Koncentrace	průměr	Směrodatná odchylka	variační koeficient
		[mg.g ⁻¹]	[mg.g ⁻¹]	[mg.g ⁻¹]	[%]
podzim 2011	8	1,37	1,297	0,05	4,0
		1,26			
		1,26			
	9	2,24	1,933	0,29	15,1
		2,02			
		1,54			
	10	1,62	1,667	0,10	5,7
		1,58			
		1,8			
	12	1,43	1,267	0,12	9,6
		1,14			
		1,23			
jaro 2012	8	0,780	0,783	0,005	0,6
		0,780			
		0,790			
	9	1,410	1,397	0,01	0,9
		1,400			
		1,380			
	10	1,870	1,853	0,02	1,3
		1,870			
		1,820			
	12	1,440	1,437	0,005	0,3
		1,440			
		1,430			
léto 2012	8	0,69	0,653	0,03	4,0
		0,63			
		0,64			
	9	1,67	1,687	0,01	0,7
		1,69			
		1,7			
	10	2,04	2,120	0,07	3,1
		2,2			
		2,12			
	12	1,61	1,763	0,11	6,4
		1,8			
		1,88			
podzim 2012	8	0,76	0,793	0,03	3,6
		0,83			
		0,79			
	9	1,67	1,683	0,02	1,1
		1,71			
		1,67			
	10	2,02	2,093	0,06	2,9
		2,09			
		2,17			
	12	1,63	1,643	0,01	0,8
		1,66			
		1,64			

Tab. 3: Naměřené hodnoty anorganického fosforu v sedimentech potoka Leskava.

	bod	Anorganický fosfor			
		Koncentrace	průměr	Směrodatná odchylka	variační koeficient
		[mg.g ⁻¹]	[mg.g ⁻¹]	[mg.g ⁻¹]	[%]
podzim 2011	8	0,248	0,240	0,01	2,9
		0,240			
		0,231			
	9	0,600	0,586	0,01	1,7
		0,576			
		0,583			
	10	0,545	0,544	0,003	0,5
		0,541			
		0,547			
	12	0,514	0,512	0,004	0,8
		0,506			
		0,516			
jaro 2012	8	0,212	0,214	0,003	1,3
		0,212			
		0,218			
	9	0,498	0,494	0,005	0,9
		0,488			
		0,497			
	10	0,815	0,819	0,003	0,3
		0,819			
		0,822			
	12	0,680	0,743	0,09	11,5
		0,864			
		0,685			
léto 2012	8	0,443	0,446	0,003	0,6
		0,449			
		0,446			
	9	0,907	0,931	0,03	2,9
		0,969			
		0,917			
	10	1,407	1,385	0,02	1,2
		1,367			
		1,381			
	12	0,883	0,872	0,01	1,0
		0,873			
		0,862			
podzim 2012	8	0,427	0,432	0,003	0,7
		0,432			
		0,435			
	9	0,961	0,962	0,01	1,5
		0,945			
		0,980			
	10	1,308	1,348	0,03	2,1
		1,369			
		1,365			
	12	0,928	0,926	0,01	1,5
		0,908			
		0,941			

Tab. 4: Naměřené hodnoty organického fosforu v sedimentech potoka Leskava.

		Organický fosfor			
	bod	Koncentrace	průměr	Směrodatná odchylka	variační koeficient
		[mg.g ⁻¹]	[mg.g ⁻¹]	[mg.g ⁻¹]	[%]
podzim 2011	8	0,253	0,247	0,004	1,7
		0,245			
		0,243			
	9	0,355	0,286	0,05	18,6
		0,278			
		0,225			
	10	0,421	0,400	0,02	3,8
		0,395			
		0,385			
	12	0,325	0,294	0,05	17,2
		0,223			
		0,334			
jaro 2012	8	0,327	0,330	0,005	1,4
		0,337			
		0,327			
	9	0,791	0,801	0,01	0,8
		0,806			
		0,805			
	10	0,130	0,140	0,01	5,3
		0,148			
		0,142			
	12	0,281	0,302	0,01	4,9
		0,312			
		0,312			
léto 2012	8	0,148	0,170	0,02	9,3
		0,177			
		0,185			
	9	0,221	0,207	0,01	7,2
		0,187			
		0,214			
	10	0,419	0,348	0,05	14,5
		0,320			
		0,305			
	12	0,236	0,263	0,04	15,9
		0,232			
		0,323			
podzim 2012	8	0,208	0,189	0,02	8,6
		0,190			
		0,168			
	9	0,315	0,328	0,05	16,7
		0,401			
		0,269			
	10	0,308	0,344	0,03	7,3
		0,360			
		0,363			
	12	0,276	0,319	0,07	20,7
		0,412			
		0,268			

4.4.2. Troubský potok

Tab. 5: Naměřené hodnoty celkového fosforu v sedimentech Troubského potoka.

		Celkový fosfor			
	bod	Koncentrace	průměr	Směrodatná odchylka	variační koeficient
		[mg.g ⁻¹]	[mg.g ⁻¹]	[mg.g ⁻¹]	[%]
podzim 2011	1	0,690	0,677	0,01	1,8
		0,680			
		0,660			
	4	1,450	1,480	0,04	2,4
		1,530			
		1,460			
	7	1,220	1,267	0,03	2,6
		1,290			
		1,290			
jaro 2012	1	0,680	0,687	0,01	1,5
		0,702			
		0,680			
	4	1,070	1,060	0,01	0,8
		1,060			
		1,050			
	7	0,900	0,887	0,01	1,1
		0,880			
		0,880			
léto 2012	1	0,590	0,623	0,05	7,6
		0,690			
		0,590			
	4	0,890	0,920	0,05	5,4
		0,880			
		0,990			
	7	1,370	1,297	0,06	4,4
		1,230			
		1,290			
podzim 2012	1	0,780	0,803	0,02	2,1
		0,820			
		0,810			
	4	1,720	1,647	0,06	3,5
		1,640			
		1,580			
	7	1,170	1,200	0,03	2,5
		1,190			
		1,240			

Tab. 6: Naměřené hodnoty anorganického fosforu v sedimentech Troubského potoka.

	bod	Anorganický fosfor			
		Koncentrace	průměr	Směrodatná odchylka	variační koeficient
		[mg.g ⁻¹]	[mg.g ⁻¹]	[mg.g ⁻¹]	[%]
podzim 2011	1	0,322	0,314	0,01	2,1
		0,312			
		0,306			
	4	0,557	0,559	0,003	0,6
		0,557			
		0,564			
	7	0,466	0,455	0,01	1,7
		0,450			
		0,449			
jaro 2012	1	0,157	0,160	0,003	1,6
		0,164			
		0,160			
	4	0,799	0,805	0,005	0,6
		0,809			
		0,808			
	7	0,346	0,347	0,002	0,5
		0,346			
		0,350			
léto 2012	1	0,333	0,319	0,01	4,1
		0,323			
		0,302			
	4	0,593	0,539	0,07	12,9
		0,441			
		0,583			
	7	0,908	0,921	0,01	1,2
		0,920			
		0,935			
podzim 2012	1	0,375	0,363	0,01	2,7
		0,365			
		0,351			
	4	1,013	0,987	0,02	2,1
		0,964			
		0,984			
	7	0,779	0,817	0,06	7,6
		0,767			
		0,905			

Tab. 7: Naměřené hodnoty organického fosforu v sedimentech Troubského potoka.

		Organický fosfor			
	bod	Koncentrace	průměr	Směrodatná odchylka	variační koeficient
		[mg.g ⁻¹]	[mg.g ⁻¹]	[mg.g ⁻¹]	[%]
podzim 2011	1	0,117	0,121	0,01	8,0
		0,135			
		0,112			
	4	0,144	0,142	0,01	9,2
		0,157			
		0,125			
	7	0,221	0,228	0,005	2,1
		0,232			
		0,230			
jaro 2012	1	0,387	0,543	0,11	20,3
		0,615			
		0,628			
	4	0,728	0,728	0,01	1,8
		0,744			
		0,711			
	7	0,380	0,384	0,01	2,0
		0,377			
		0,394			
léto 2012	1	0,144	0,141	0,003	2,0
		0,141			
		0,137			
	4	0,131	0,130	0,01	10,4
		0,146			
		0,113			
	7	0,164	0,157	0,02	13,3
		0,178			
		0,128			
podzim 2012	1	0,179	0,197	0,01	7,5
		0,215			
		0,198			
	4	0,183	0,167	0,01	6,6
		0,159			
		0,159			
	7	0,181	0,177	0,02	10,7
		0,152			
		0,198			

4.4.3. Hydromorfologické hodnocení

Obě měření proběhly ve vegetační době a při normálním stavu průtoků.

- ***Leskava***

Hydromorfologické mapování bylo provedeno 13. 6. 2011, za středních průtoků v Leskavě. Po celé délce toku, s výjimkou pramenné oblasti nad zástavbou městské části Bosonohy, je tok morfologicky degradován. Nad intravilánem městské části Bosonohy byl postaven suchý poldr. Úpravy toku změnily příčný profil na pravidelný lichoběžník s občasným zpevněním dna a paty svahu. Sklony svahů 1:1 až 1:1,5 jsou jen místy narušeny erozí břehů. Trasa toku je, s výjimkou krátkých úseků pramenné části, napřímena, v podélném profilu je několik stupňů. Původní substrát dna (štěrkopisek až kameny) je na většině trasy zanesen (překryt) jemnými sedimenty (bahno a kal). Břehy jsou po většině trasy toku zatravněny. Břehové porosty, většinou nepůvodní, jsou nesouvislé, často pouze na jednom břehu a převládají solitérní dřeviny. V několika částech jsou břehy porostlé hustým porostem tvořeným kopřivou, kde přerůstají do toku a stíní hladinu. V těchto částech nejsou na tok žádné průhledy a je nepřístupný. V okolí staveb, jako jsou rodinné domy, mosty, železnice, silnice, dálnice a další objekty, je koryto toku tvrdě opevněno a tok je i zatrubněn.

Z morfologického hlediska postrádá tok přirozenou strukturu, schází mu jakákoliv diverzita, ať už šířky, sklonu svahů, či substrátu dna, proudění. Dno je pravidelné, variabilita hloubek po celé trase toku je minimální. Úsek toku nad intravilánem Bosonoh v letním období často vysychá.

Niva toku byla využívána zemědělsky, postupně se zastavovala. Zástavba se rozšiřuje na úkor zemědělské půdy. Koryto Leskavy bylo zahloubeno a podél toku byly vybudovány ochranné hráze. K devastaci nivy přispěly také dopravní koridory, postavené napříč povodím. Následkem všech uvedených antropogenních zásahů byla přirozená říční niva postupně degradována, bylo přerušeno její hydrologické spojení s tokem.

Tvrdá technická opatření na toku jsou ještě doprovázena znečištěním toku splaškovými vodami ze staré zástavby. Tok díky splaškům místy připomíná stoku. Podle hydromorfologického hodnocení byl tok klasifikován podle pětímístné hodnotící stupnice (1 – velmi dobrý, 5 – zničený) stupněm 4 – poškozený hydromorfologický stav.

Hydromorfologický stav	Rozmezí	Procenta přírodního stavu	Kvalita stavu	Barevné označení v mapě, náčrtku či GIS
4	3,5 – 4,2	<40, 20)	poškozený	oranžová

Tab. 8: Hydromorfologické posouzení potoka Leskava

Číslo úseku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Břehy	3,8	3,4	4	5	4	1,1	1,1	3,8	4	3,8	4	3	4	4	2,9	3,7	4,5	3,3	1,1
Dnový materiál	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	1,1
Příčné překážky a vzdutí	1	3	3	3	1	1	1	2	1	1	1	3	3	1	1	2	2	2	2
Kapacita a přehloubení koryta	5	5	5	5	5	2,9	3	5	5	5	5	3	3	3	5	5	5	3	1
Říční dřevina	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	5	5	2
Dynamika	3,8	5	4,8	4,8	3	1,7	5	4,7	5	4,8	5	3,5	5	5	3,8	5	5	5	5
Hydrologický režim	1	1	1	1	1	1,1	1,1	1	1	1	1,1	1,1	1	1	1	2	4	5	1
Záplavové území	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	1	5	5	5	1
Příbřežní zóna	4,7	5	4	4	3	3,3	2,5	1,4	1,4	3,8	5	2,6	3	3	5	4,7	5	5	2
Vegetační doprovod	4	2	2	2,6	3	3	2,9	3	4	3	3,3	3	3	3	3	4	5	5	2,4
bodové hodnocení úseku	3,83	3,94	3,88	4,04	3,5	2,91	3,16	3,59	3,64	3,74	3,94	3,22	3,7	3,4	3,27	4,14	4,55	4,33	1,86
délka úseku [m]	360	450	480	420	540	740	410	460	460	550	480	490	490	420	540	510	420	770	560
celkový stav:																			3,6

Tok Leskava byl hodnocen od ústí do řeky Svratky po pramennou oblast, viz tab. 8, kde úsek 1 je úsek u soutoku a úsek 19 je pramenná oblast. Jak lze z tabulky vyčíst, kapacita a přehloubení koryta má nejvyšší bodové hodnocení a po celé délce je tok výrazně přehlouben, vegetační doprovod, říční dřevo a břehy jsou v lepším stavu. Nejlepší hodnocení mají příčné překážky a vzdutí a hydrologické režim.

- ***Troubský potok***

Hydromorfologické mapování bylo provedeno ve vegetačním období 7. 9. 2012, za středních průtoků. Troubský potok pramení v Popůveckém lese, kterým protéká asi na dvou kilometrech své délky, v tomto úseku není tok nijak prohlubován ani napřimován a nivu tvoří hospodářský les. Při průtoku obcí Popůvky a Troubsko je tok výrazně zkapacitněn, upraven do obdélníkového průřezu a opevněn souvislým tuhým opevněním. Porost je zde pravidelně odstraňován. Za Troubskem potok protéká kolem několika hospodářských budov a farem, kde je opět nesouvisle opevněn.

Mimo intravilán je tok napřímen a upraven do lichoběžníkového průřezu se sklony 1:1,5. Podél toku je souvislý porost. V místech křížení s komunikací je tok opevněn. Nivu tvoří zemědělská půda a povodím prochází dálnice D1, potok však nekříží. Těsně před ústím do řeky Bobravy protéká Troubský potok kolem přírodního parku Bobrava, tento park je využíván jako hospodářský les. Pokud byl zde tok upravován, úpravy zcela zanikly a potok se vrací do přírodního stavu, meandruje a případné prohloubení bylo zaneseno.

Z hydrologického hlediska se na toku nachází pouze 2 stupně, ale tok je výrazně přehlouben a rozšířen a během sušších měsíců může vysychat. Za městskými částmi je voda kalná a šedá, ale samočisticí funkce je zde zachována. Po pár set metrech se voda opět pročišťuje a barva a zákal již není zřetelný. Podle hydromorfologického hodnocení byl tok klasifikován podle pětimístné hodnotící stupnice (1 – velmi dobrý, 5 – zničený) stupněm 3 – střední hydromorfologický stav.

Hydromorfologický stav	Rozmezí	Procenta přírodního stavu	Kvalita stavu	Barevné označení v mapě, náčrtku či GIS
3	2,6 – 3,4	<60, 40)	střední	žlutá

Troubský potok byl také hodnocen od ústí do Bobravy k pramenné části. Úsek 1 je první úsek od soutoku proti proudu a úsek 12 je poslední úsek k pramenné části, viz tab. 9.

Tab. 9: Hydromorfologické posouzení Troubského potoka.

Číslo úseku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Břehy	3,9	4	3,8	4	3,8	3	5	4	4	5	3,5	1
Dnový materiál	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	1
Příčné překážky a vzdutí	3	1	1	1	1	4	1	1	1	3	1	1
Kapacita a přehloubení koryta	1	5	2	5	5	5	5	5	5	5	4	1
Říční dřevo	2	3	3	5	5	5	5	5	5	5	5	2
Dynamika	2	2,3	5	5	5	5	5	5	5	5	3,5	1
Hydrologický režim	1	1	5	1	5	5	5	5	5	5	4,5	1
Záplavové území	2	4	3	3	1	3	5	1	1	1	1	1
Příbřežní zóna	2	4	2,9	3	5	4	5	4	5	5	2,3	2
Vegetační doprovod	2	3,3	2	3,3	4	5	5	2	2	2	3	2
bodové hodnocení úseku	2,39	3,26	3,27	3,53	3,98	4,4	4,6	3,6	3,8	4,1	3,28	1,3
délka úseku [m]	1000	1000	800	600	600	1000	600	400	800	600	800	1500
												3,2

Celá délka potoka má změněný dnový materiál a na většině délky toku je špatné hodnocení také u kapacity a přehloubení toku. Lepší hodnoty má příbřežní zóna, vegetační doprovod a záplavové území. Nejlépe jsou hodnoceny příčné překážky a vzdutí toku.

Při srovnání obou toků vychází lépe hodnocen Troubský potok se středním stavem toku oproti Leskavě, která má hodnocení toku jako poškozený.

4.5. Diskuze

4.5.1. *Porovnání celkového fosforu vůči součtu P_{org} a P_{anorg}*

Z dat je zřejmé, že celkový fosfor není shodný se součtem organického a anorganického fosforu. Celkový fosfor vychází větší než tento součet (Tab. 10). Průměrná odchylka těchto hodnot se pohybuje okolo 26,5 %, v rozmezí od 3 % do 62 %.

Tab. 10: Hodnocení rozdílu celkového fosforu k součtu P_{org} a P_{anorg} .

	bod	celkový fosfor TP [mg.g ⁻¹]	součet P_{org} a P_{anorg} [mg.g ⁻¹]	rozdíl celkového fosforu a součtu P_{org} a P_{anorg} [mg.g ⁻¹]	procentuelní odchylka vůči celkovému fosforu [%]
podzim 2011	1	0,677	0,435	0,242	35,7
	4	1,480	0,701	0,779	52,6
	7	1,267	0,683	0,584	46,1
	8	1,297	0,486	0,810	62,5
	9	1,933	0,872	1,061	54,9
	10	1,667	0,944	0,722	43,3
	12	1,267	0,806	0,461	36,4
jaro 2012	1	0,687	0,704	-0,017	-2,4
	4	1,060	1,533	-0,473	-44,6
	7	0,887	0,731	0,156	17,6
	8	0,783	0,544	0,239	30,5
	9	1,397	1,295	0,102	7,3
	10	1,853	0,959	0,895	48,3
	12	1,437	1,045	0,392	27,3
léto 2012	1	0,623	0,460	0,163	26,2
	4	0,920	0,669	0,251	27,3
	7	1,297	1,078	0,219	16,9
	8	0,653	0,616	0,037	5,7
	9	1,687	1,138	0,549	32,5
	10	2,120	1,733	0,387	18,3
	12	1,763	1,136	0,627	35,6
podzim 2012	1	0,803	0,561	0,243	30,2
	4	1,647	1,154	0,493	29,9
	7	1,200	0,994	0,206	17,2
	8	0,793	0,620	0,173	21,8
	9	1,683	1,290	0,394	23,4
	10	2,093	1,691	0,402	19,2
	12	1,643	1,244	0,399	24,3

Metoda rozkladu vzorku s kyselinou sírovou a peroxidem vodíku je velmi účinná, protože pracuje v prostředí koncentrované silné kyseliny (H_2SO_4), se silným oxidačním činidlem (H_2O_2) a za vysokých teplot (440 °C). Její výtěžnost nebyla ověřována, protože nebyl dostupný vzorek sedimentu s certifikovaným obsahem TP. Dá se však

předpokládat uvolnění naprosto převážné části TP do roztoku. Naproti tomu metody použité pro stanovení P_{org} a P_{anorg} používají slabší extrakční činidla a nepracují za vysokých teplot. Proto zřejmě dochází k rozdílům ve výsledcích.

4.5.2. Náročnost použitých metod

Na stanovení organického a anorganického fosforu metodou fotometrického stanovení fosforu molybdenanovou modří jsou zapotřebí pro odběr sedimentů jádrový vzorkovač Beekerova typu pro sedimenty Eijkelkamp, pro žíhání vzorků pec laboratorní Classic (Memmert model 100-800), pro stanovení koncentrace fosforu spektrofotometr (Cecil C2021), rotační homogenizátor (Heidelhoph Reax 20), sušárna (Stericell 55) a centrifuga (Hettich universal 30RF).

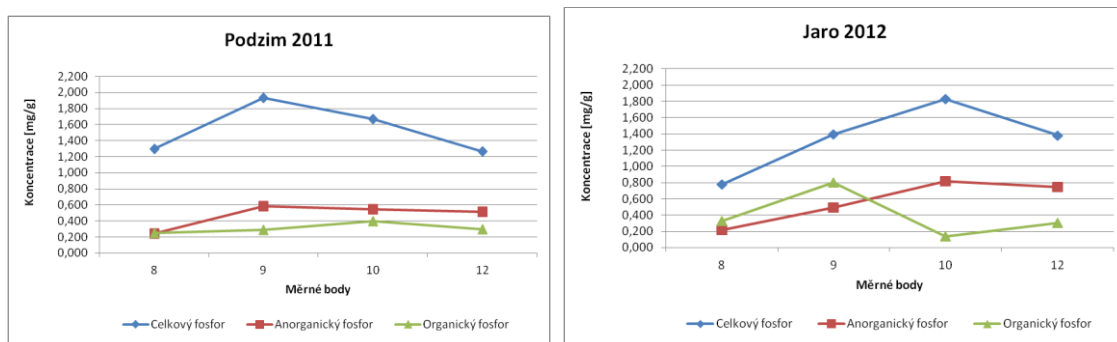
Z chemikálií jsou zapotřebí pro namíchání směsného činidla koncentrovaná kyselina sírová H_2SO_4 , destilovaná voda, molybdenan amonný $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot H_2O$ a vinan draselno-antimonitý $KSbOC_4H_4O_6 \cdot 0,5H_2O$. Dále pro stanovení fosforečnanů je potřeba roztok kyseliny askorbové a HCl . Pro celkový fosfor je zapotřebí opět kyselina sírová a peroxid H_2O_2 .

Stanovení organického a anorganického fosforu je zdlouhavé. Vychází to ze stanovené metody, kdy musí být vzorek promícháván po dobu 16 hodin a to dvakrát, jednou pro anorganický fosfor a poté znovu pro organický fosfor. Celý proces tak zabere tři dny. Počet vzorků musí být stanoven tak aby se všechny vešly najednou do pece pro žíhání. Dále příprava vzorku jako prosévání a sušení je fyzicky namáhavá, pokud je materiál zrnitý, je potřeba velkého objemu vzorku z důvodu dostatečného podsítného. Pokud je velmi jemný materiál síto je často ucpané a je velmi náročné prosít frakci $45\mu m$.

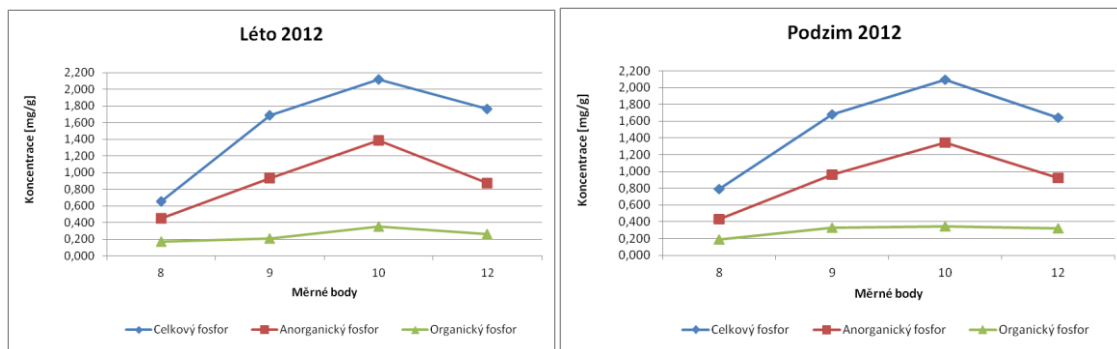
Přesnost metody stanovení je vyjádřena směrodatnou odchylkou, která byla určena z tří paralelních měření stejného vzorku a výsledná hodnota je aritmetický průměr ze všech směrodatných odchylek. U celkového fosforu činí $0,047 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, u anorganického fosforu je $0,016 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ a u organického fosforu je $0,024 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$. Z toho lze usoudit, že všechny tři použité metody jsou poměrně přesné.

4.5.3. Zatížení sedimentů potoka Leskava fosforem

Pokud se díváme na změnu koncentrací v toku od pramene k ústí, lze sledovat zvyšování koncentrací při průtoku obcí. Na začátku městské části Bosonohy lze očekávat nejnižší koncentrace, ale to nemusí být pravidlem. Koncentrace může být vysoká z důvodu obdělávání orné půdy a k tomu patřícímu přidávku živin. Potok pramení v nivě, která je zemědělsky využívána, a koncentrace jsou zde na začátku vegetačního období vysoké oproti podzimu. Po průtoku Bosonohami se koncentrace zvedne. Po té protéká Leskava zemědělskou ornou půdou, která ovlivňuje koncentraci stejně jako oblast u pramene, koncentrace se v této části prudce zvedá a to i na podzim, kdy je očekáváno snížení z důvodu malého přísunu hnojiv. Dále potok proteče dvěma městskými částmi Bohunice a Horní Heršpice, kříží dálnici a protéká zahrádkářskou kolonií a zemědělskou ornou půdou. Koncentrace fosforu se mírně snižuje, což dokazuje určité čistící schopnosti toku. Z grafů 9 až 12 lze vidět, že průběh P_{anorg} kopíruje celkový fosfor, P_{org} zůstává po celou dobu v nízkých hodnotách.

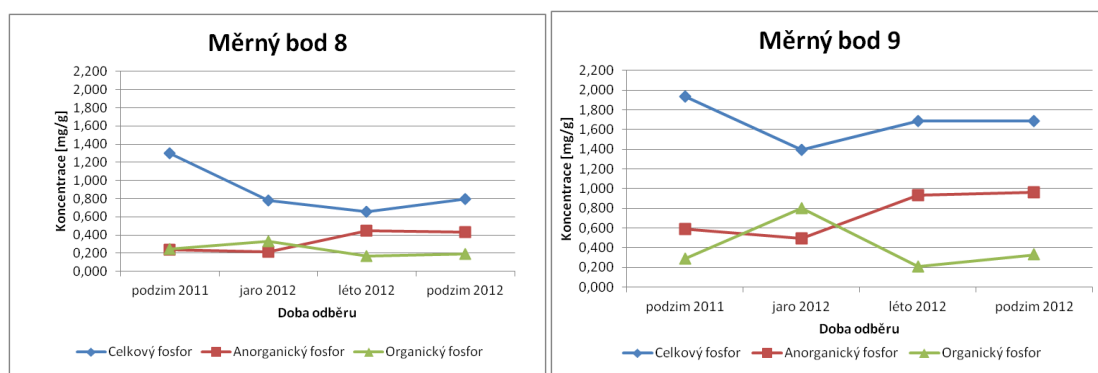


OBR. 9: Průběh koncentrace fosforu po délce toku Leskavy na podzim 2011, na jaře 2012.

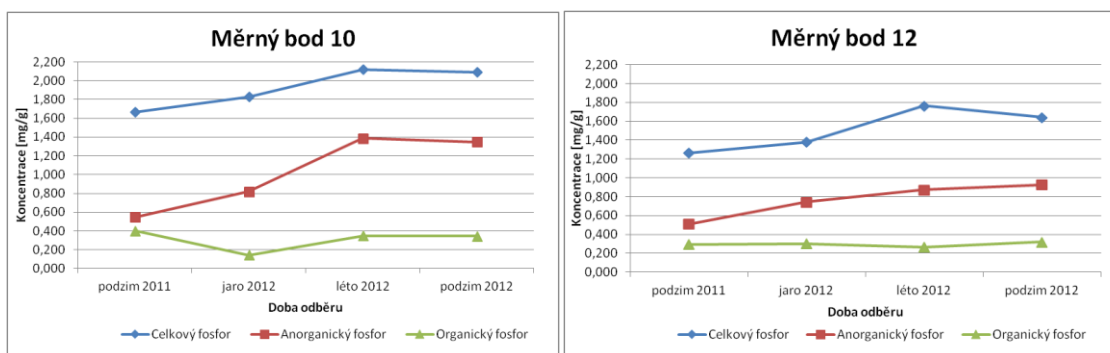


OBR. 10: Průběh koncentrace fosforu po délce toku Leskavy v létě a na podzim 2012.

Výskyt anorganického fosforu se v letních a podzimních měsících mírně zvyšuje oproti jarním měsícům. Oproti tomu organický fosfor zůstává na stejné hladině po celý rok v místech, kde proteče obcí nebo se mírně sníží v místech, kde protéká lesem.



OBR. 11: Průběh koncentrace fosforu v Leskavě v čase v bodech 8 a 9.



OBR. 12: Průběh koncentrace fosforu v Leskavě v čase v bodech 10 a 12.

Za zdroj znečištění je možné považovat v jarních měsících zemědělskou ornou půdu a to část u pramene a mezi městskými částmi Bosonohy a Bohunice. V Bosonohách

nemají dosud v okolí potoku kanalizaci a čistírnu odpadních vod a velká část domů přepouští septiky přímo do Leskavy. Část odvodnění dálnice je také zaústěna do Leskavy.

Při průtoku korytem s vybetonovaným dnem nejsou organismy čistící vodu schopny se udržet a nejsou zde žádné rostliny, které ovlivňují samočisticí schopnosti toku, proto se po průtoku touto oblastí koncentrace nesnižuje, ale s přibývajícím znečištěním zvyšuje.



OBR. 13: Průtok Leskavy městskou částí Bosonohy.



OBR. 14: Vlevo průtok potoku kolem městské části Starý Lískovec. Vpravo průtok kolem městské části Bohunice.

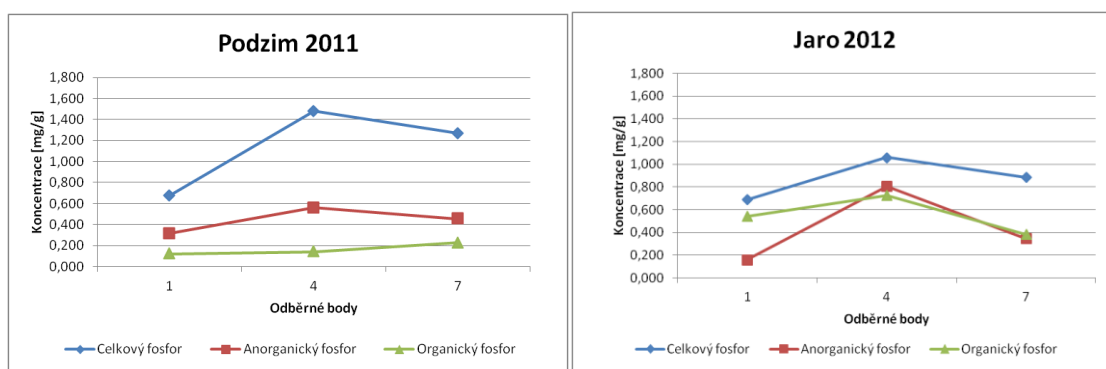
Z dat je zřejmé, že členité dno také ovlivňuje samočisticí schopnosti a to jak kamenité dno, tak i dno s nekompaktním opevněním, jako jsou zatravnovací tvárnice.



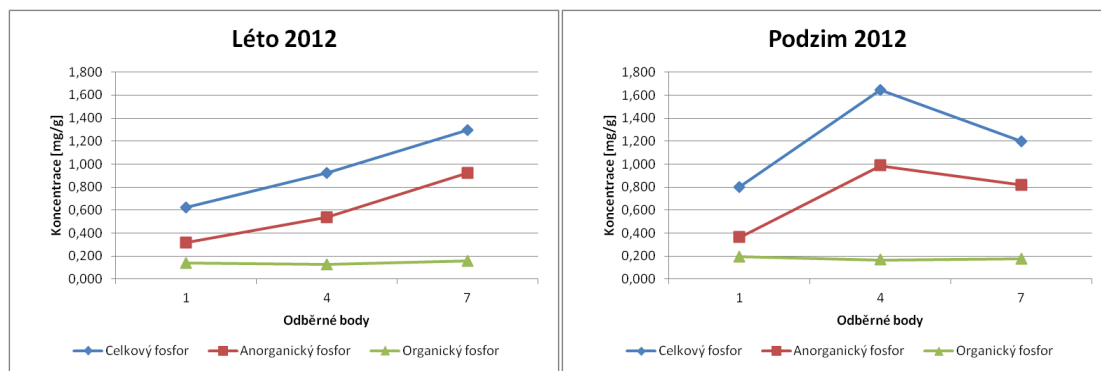
OBR. 15: Průtok zemědělskou oblastí před vtokem do Horních Heršpic.

4.5.4. Zatížení sedimentů Troubského potoka fosforem

Při pohledu od pramene je koncentrace fosforu změřena po průtoku Popůveckým lesem. Poté je za Troubskem stanovena koncentrace, která se zvýšila po průtoku Troubského potoka obcemi Veselkou, Popovicemi a Troubskem a kde potok kříží železniční trať. Tok dále prochází částečně ornou půdou a lesem, křížuje komunikaci a prochází parkem Bobrava. Koncentrace je znovu změřena před ústím do toku Bobravy. Koncentrace se sníží díky průchodu lesem a malým zatížením v tomto úseku, což ukazuje samočisticí schopnosti toku. Ovšem v létě se koncentrace po průtoku touto oblastí ještě zvýší.

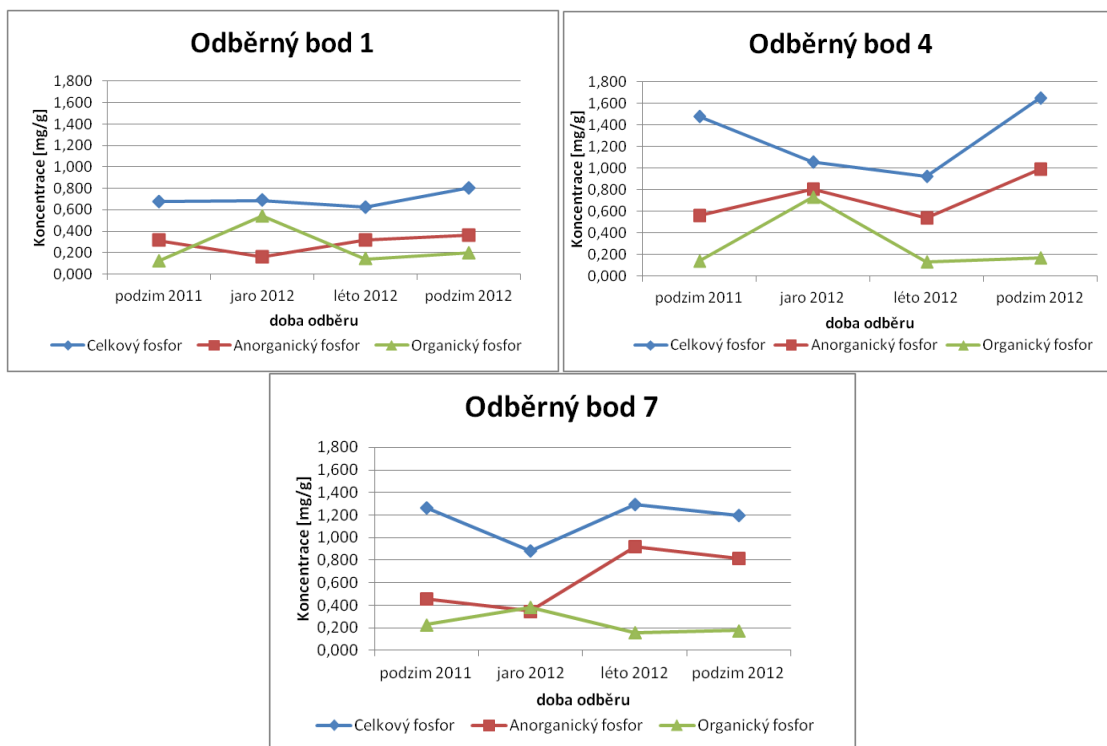


OBR. 16: Průběh koncentrace po délce Troubského potoka na podzim 2011, jaro 2012.



OBR. 17: Průběh koncentrace po délce Troubského potoka v létě a na podzim roku 2012.

Na podzim je koncentrace organického fosforu v sedimentech nízká vlivem vzrostlé vegetace a vyvinutých mikroorganismů v toku v měrných bodech umístěných v oblasti lesa, avšak v oblasti obcí jsou koncentrace nejvyšší. V jarních měsících se tato koncentrace P_{org} zvýší, protože organismy přes zimu uhynou a fosfor vázaný v rostlinách se uvolní. V jarních měsících ještě rostliny nejsou vyvinuty tak aby čistily vodu a stejně tak kořenový systém rostlin. V letních měsících hlavně při průtoku přírodním parkem Bobrava se množství fosforu zvýší oproti jaru a to díky dodávání fosforu z vegetace a vyšším zatížením v předchozích částech toku. Podobně jako u Leskavy, i u Troubského potoka kopíruje průběh koncentrace celkového fosforu průběh koncentrace anorganického fosforu (Obr. 17 a 18).



OBR. 18: Průběh koncentrace v Troubském potoce v čase v odběrných místech.

Zde jsou hlavními znečišťovateli obce Veselka, Popovice a Troubsko, které nemají zřízenou čistírnu odpadních vod a voda je zde vypouštěna do toku. Dále odpadní vody z odvodnění dráhy a komunikací jsou odváděny do toku. Tok prochází zemědělskou půdou na velmi malém úseku a i tato způsobuje v jarních měsících zvýšený výskyt fosforu.



OBR. 19: Průtok Popůveckým lesem v pramenné oblasti.

Z grafů lze pozorovat, že při průtoku lesní nivou a s bylinným patrem se koncentrace snižuje. Oproti tomu při průtoku korytem s betonovým opevněním se koncentrace fosforu neodbourává. Při pochůzce kolem toku nebyly viděny žádné vyšší organismy v toku.



OBR. 20: Průtok potoka obcí Troubsko.

5. ZÁVĚR

Oba toky – Leskavu i Troubský potok – lze srovnávat z důvodu stejné délky a sklonu toku a také protože oba toky sousedí svými povodími a tyto povodí jsou si podobné velikostí a charakterem. Oba toky jsou ve velmi špatném stavu jak z hlediska hydromorfologického, tak z hlediska zatížení sedimentů fosforem.

Již při pohledu z leteckých snímků lze usuzovat na horší stav Leskavy, ta po své délce prochází více osídlenými částmi a také je zde více orné půdy než v okolí Troubského potoka. Břehy jsou také více opevněny a křížuje také větší počet komunikací, jak dálnici, tak železnici. Zahloubení koryt je stejné a charakter sklonových a směrových poměrů je podobný. Leskava je hodnocena stupněm 4 s poškozenou hydromorfologickou kvalitou stavu.

Troubský potok je po hydromorfologické stránce hodnocen lépe. Prochází větší plochou přírodního a také původního prostředí, tím je myšlena původní dubová habřina. Při průchodu lesem není potok také tak přehlouben jako mimo lesy a to má také výrazný vliv na výsledné hodnocení. Je hodnocen stupněm 3 jako střední hydromorfologická kvalita stavu.

I zatížení sedimentů obou toků fosforem je podobné. Pro celkový fosfor se pohybuje od desetin do více než dvou $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$. Vyšší hodnoty byly zjištěny u potoka Leskava. Pokud jde o fosfor organický, pohybují se koncentrace v obou tocích na nízké úrovni. Zajímavé je zjištění, že u obou toků kopíruje průběh celkového fosforu anorganický fosfor.

U obou toků se koncentrace fosforu v sedimentech zvyšuje po průtoku obcemi, naopak snižuje se při průtoku lesem. Vývoj koncentrace fosforu v čase není jednoznačný. U Leskavy koncentrace od podzimu do léta ve všech měrných bodech stoupá a na podzim se mírně snižuje. U Troubského potoka se při průchodu lesem společenstvím koncentrace fosforu od jara do léta zvýší a dále na podzim se mírně snižuje, oproti tomu při průtoku sídlem se koncentrace snižuje od jara do léta a k podzimu se prudce zvýší. Hodnocení

vývoje koncentrace fosforu v sedimentech v čase by však vyžadoval delší měření, nejlépe po dobu několika let.

Analytické metody použité pro stanovení TP, P_{anorg} a P_{org} jsou poměrně pracné, avšak dávají přesné výsledky. Variační koeficient dosahoval průměrné hodnoty 4,9 %. Proto je lze doporučit pro stanovení fosforu v sedimentech vodních toků.

Celkový stav toků jak po stránce obsahu fosforu, tak po stránce hydromorfologické je velmi špatný, proto by měla být provedena opatření na nápravu stavu. Pro snížení přísunu nadbytečného fosforu je nutné omezit hlavní dva znečišťovatele a to znečištění odpady z obydlí vybudováním kanalizace a čistírny odpadních vod. A pro omezení přísunu fosforu a jemných sedimentů obsahující fosfor z orné půdy, změnou pěstované plodiny, která nezpůsobuje erozní odnos do toků a ověřit množství použitých hnojiv a výběr správného období pro hnojení.

Omezením přísunu hnojiv a vybudováním ČOV se stávající koncentrace fosforu nezmenší, ale nebude se dále zvyšovat. Snížení stávající koncentrace fosforu by trvalo několik desítek let. Rychlejšího zlepšení stavu toku by se dalo dosáhnout odtěžením sedimentů, které je ovšem nákladné. Omezilo by se tím prerůstání toku bylinami a křovinami. Dále by bylo vhodné některé úseky toků revitalizovat, a to snížením zahloubení toku a také vhodnými směrovými úpravami.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Analytica Chimica Acta*. roč. 508. ISSN 00032670. Dostupné z:
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0003267003014697>
- [2] KRÁLOVÁ, Helena. Hydromorfologické hodnocení drobných vodních toků. Brno.
- [3] *Eutrofizace 2000: sborník semináře, Praha 10.10.2000*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2000, 58 s. ISBN 80-708-0396-7.
- [4] MALÁ, Jitka.: *Složení a vlastnosti přírodních vod, modul 2 znečištění přírodních vod*, Vysoké učení technické v Brně, fakulta stavební, s. 85.
- [5] Fosfor. *Multimediální výukový text Ekologické aspekty technické hydrobiologie* [online]. [cit. 2013-01-05]. Dostupné z:
http://hg10.vsb.cz/546/Ekologicke%20aspekty/cviceni/cviceni_lenticky/fosfor.htm
- [6] PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4. aktualiz. vyd. Praha: VŠCHT, 2009, viii, 579 s. ISBN 978-80-7080-701-9.
- [7] GOLTERMAN, H. *The chemistry of phosphate and nitrogen compounds in sediments*. Boston: Kluwer Academic, c2004, xxv, 251 p. ISBN 14-020-1951-3.
- [8] MONTGOMERY, David R., BUFFINGTON, John M.: *Channel-reach morphology in mountain drainage basins Geological Society of America Bulletin, May, 1997, v. 109, no. 5, p. 596-611, DOI: 10.1130/0016-7606(1997)109<0596:CRMIMD>2.3.CO;2*.
- [9] THOMPSON, at al. *Velocity reversals and sediment sorting in pools and riffles controlled by channel constrictions*, Volume 27, Issues 3–4, March 1999, Pages 229–241, DOI: 10.1016/S0169-555X(98)00082-8,.
- [10] Samočisticí schopnost toků. *Multimediální výukový text Ekologické aspekty technické hydrobiologie* [online]. [cit. 2013-01-05]. Dostupné z:
http://hg10.vsb.cz/546/Ekologicke%20aspekty/loticky_system/4_samocistici/cistici.htm
- [11] *Směrnice 2000/60/ES Evropského parlamentu a Rady: z 23. října 2000, ustavující rámec činnosti Společenství v oblasti vodní politiky. (pracovní překlad)*. Vydalo MŽP – odbor ochrany vod, Praha, květen 2001.
- [12] HORTON, ROBERT E. *Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology* .DOI: 10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2. Dostupné z:

<http://gsabulletin.gsapubs.org/cgi/doi/10.1130/0016->

7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2

[13] SMETANA, M: *Ekomorfologické mapování potoka Lubě*. Brno, 2006, 51 s.

Bakalářská práce na Přírodovědecké fakultě Masarykovy univerzity na geografickém ústavu. Vedoucí diplomové práce Mgr. Zdeněk Máčka Ph.D.

[14] Langhammer, J., Matoušková, M.: Mapování a analýza antropogenní transformace říční sítě v povodí Blanice. In: Matoušková, M.: *Ekohydrologický monitoring vodních toků v kontextu Evropské směrnice o vodní politice*. PřF UK v Praze, GAČR, Praha, 2008, s. 210.

[15] ROSGEN, David L. A classification of natural rivers. *CATENA*. 1994, roč. 22, č. 3, s. 169-199. ISSN 03418162. DOI: 10.1016/0341-8162(94)90001-9. Dostupné z:

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0341816294900019>

[16] LANGHAMMER, Jakub. *HEM ekologický monitoring: Hodnocení ukazatelů*. Praha: Universita Karlova, 2008, s.23.

[17] HORÁKOVÁ, Marta. *Chemické a fyzikální metody analýzy vod*. 2. nezm. vyd. Praha: SNTL, 1989, 389 s.

[18] *Rizika ve vodním hospodářství 2007: sborník příspěvků :[Brno 26.-27.11.2007]*. Vyd. 1. Brno: ECON publishing, 2007, 542 s. ISBN 978-80-86433-43-1.

[19] *International journal of analytical and bioanalytical chemistry*. roč. 376. ISSN 2231-5012.

[20] ACTA VET. BRNO 2010, 79: 157–164; doi:10.2754/avb201079010157

[21] HORÁKOVÁ, Marta. *Analytika vody*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2003, 335 s. ISBN 80-708-0520-X.

[22] MALÁ, Jitka, at al.: *VODA 2011 Sborník přednášek a posterových sdělení, Fosfor v sedimentech drobných vodních toků*, Tribun EU s.r.o., Brno, 2011, ISBN 978-80-263-0045-8.

[23] MALÁ, Jitka.: *Složení a vlastnosti přírodních vod, modul 1 chemie přírodních vod*, Vysoké učení technické v Brně, fakulta stavební, s. 80.

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Stupnice hydromorfologického stavu toků	22
Tab. 2: Naměřené hodnoty celkového fosforu v sedimentech potoka Leskava pro rok 2011/2012.....	33
Tab. 3: Naměřené hodnoty anorganického fosforu v sedimentech potoka Leskava pro rok 2011/2012.	34
Tab. 4: Naměřené hodnoty organického fosforu v sedimentech potoka Leskava pro rok 2011/2012.....	35
Tab. 5: Naměřené hodnoty celkového fosforu v sedimentech Troubského potoka pro rok 2011/2012.....	36
Tab. 6: Naměřené hodnoty anorganického fosforu v sedimentech Troubského potoka pro rok 2011/2012.	37
Tab. 7: Naměřené hodnoty organického fosforu v sedimentech Troubského potoka pro rok 2011/2012.	38
Tab. 8: Hydromorfologické posouzení potoka Leskava	40
Tab. 9: Hydromorfologické posouzení Troubského potoka.	42
Tab. 10: Hodnocení rozdílu celkového fosforu k součtu P_{org} a P_{anorg}	44

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 1: Vývoj podélného profilu toku [18].	16
OBR. 2: Schéma morfologie dna toku, místa vymílání a usazování [19].	17
OBR. 3: Schéma typu proudění [18].	18
OBR. 4: Mapovací formulář.	23
OBR. 5: Mapa odběrných míst.	29
OBR. 6: Vlevo odběrné místo číslo 8 a vpravo odběrné místo číslo 9.	30
OBR. 7: Vlevo odběrné místo číslo 10 a vpravo odběrné místo 12.	30
OBR. 8: Vlevo odběrné místo číslo 4 a vpravo odběrné místo číslo 7.	31
OBR. 9: Průběh koncentrace fosforu po délce toku Leskavy na podzim 2011, na jaře 2012.	46
OBR. 10: Průběh koncentrace fosforu po délce toku Leskavy v létě a na podzim 2012.	47
OBR. 11: Průběh koncentrace fosforu v Leskavě v čase v bodech 8 a 9.	47
OBR. 12: Průběh koncentrace fosforu v Leskavě v čase v bodech 10 a 12.	47
OBR. 13: Průtok Leskavy městskou částí Bosonohy.	48
OBR. 14: Vlevo průtok potoku kolem městské části Starý Lískovec. Vpravo průtok kolem městské části Bohunice.	48
OBR. 15: Průtok zemědělskou oblastí před vtokem do Horních Heršpic.	49
OBR. 16: Průběh koncentrace po délce Troubského potoka na podzim 2011, jaro 2012.	49
OBR. 17: Průběh koncentrace po délce Troubského potoka na jaře roku 2012.	50
OBR. 18: Průběh koncentrace v Troubském potoce v čase v odběrných místech.	51
OBR. 19: Průtok Popůveckým lesem v pramenné oblasti.	51
OBR. 20: Průtok potoka obcí Troubsko.	52

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

P	... značka fosforu
TP	... celkový fosfor
P _{org}	... organický fosfor
P _{anorg}	... anorganický fosfor
HEM	... hydroekologický monitoring
ČOV	... čistírna odpadních vod

SUMMARY

Both flows - Leskava and Troubsky brook - can be compared for the same length and slope and also because both their catchment areas are next to each other and similar in size and character. The brooks are in bad condition because of their hydromorphological status and phosphorus sediment load.

Even from aerial photographs worse condition of Leskava can be deduced. This brook flows through more populated settlements and also there is more arable land than along the Troubsky brook. Its banks are also more fortified and the water course crosses more roads, both highway and rail. Countersink channels have the same character and leaning and curvature is similar. Hydromorphological status of Leskava was rated grade 4 – “damaged”.

Troubsky stream was evaluated better from hydromorphological point of view. It flows through a larger area of the natural and original environment – an oak-hornbeam forest. While passing through the forest the water course is not so much countersink as outside the forest, which has a significant influence to the final evaluation. Troubsky brook was graded by 3 as “moderate” hydromorphological quality.

The phosphorus load is similar in sediments of both water courses. Total phosphorus ranges from tenths to more than two mg.g^{-1} . Higher values were found in the water course Leskava. In respect of organic phosphorus, the concentration range in both water courses is at a low level. It is interesting that in both streams inorganic phosphorus follows the course of the total phosphorus.

In both streams, the concentration of phosphorus in the sediments increases in municipalities, while decreases in the forests. Development of phosphorus concentration in time is not unambiguous. Concentration of phosphorus rises from autumn to summer at all measurement points of Leskava and slightly drops at fall. At Troubsky brook, the phosphorus concentration raises from spring to summer and slightly drops to fall in the forest, while it decreases from spring to summer and then increases sharply in autumn when the passing through municipality. Evaluation of phosphorus concentration in

sediment over time would require a longer measurement, preferably for a period of several years.

Analytical methods used for the determination of TP, P_{inorg} and P_{org} are quite laborious, but give accurate results. The coefficient of variation was 4.9 % in average. Therefore, they can be recommended for the determination of phosphorus in the river sediments.

The overall condition of the streams both in terms of phosphorus and hydromorphological status is very bad, measures should be taken in order to remedy the situation. Necessary is to restrict the two main polluters to reduce the supply of wastewater rich in phosphorus by building sewers and waste water treatment plants. The intake of phosphorus and fine sediment containing phosphorus from arable land has to be limited by changing the type of crops to reduce the erosion denudation into streams, by verifying the quantity of fertilizers, and choosing the right time for fertilization.

Concentrations of phosphorus cannot be diminished by limiting the supply of fertilizers and construction of the WWTP, but it will not further increase. Reducing the existing concentration of phosphorus would take several decades. A faster improvement of the condition of the water course could be achieved by extracting the sediments. The overgrowing of herbs and shrubs would be limited this way. Furthermore, some stretches of the water courses could be restored, namely by reducing the countersink and by appropriate directional changes.